

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

RAOUL HUSSON

Ancien élève de l'École normale supérieure,

Licencié ès sciences mathématiques,

Diplômé d'Études supérieures de Physique mathématique

et de Calcul des probabilités.

PREMIÈRE THÈSE. — Étude des phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux
de la voix chantée.

DEUXIÈME THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 17 juin 1950 devant la Commission d'examen.

MM. Y. ROCARD, *Président.*

A.-M. MONNIER }
SOULAIRAC } *Examineurs.*

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen CHÂTELET (M. A.).

PROFESSEURS

JULIA (G.)	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	SCHAEFFER	T	Physiologie des fonctions.
DENJOY (A.)	T	Théorie des Fonctions.	LAFFITTE	T	Chimie (P.C.B.).
LUTAUD (L.)	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	FAVARD		Calcul des probabilités et Physique-Mathématique.
DARMOIS (E.)	T	Enseignement de Physique.	COULOMB	T	Physique du Globe.
LÉVY (Robert)	T	Physiologie comparée.	COUSIN (M ^{lle})	T	Biologie animale (P.C.B.).
VILLAT (Henri)	T	Mécanique des fluides et applications	CHRÉTIEN		Chimie (P.C.B.).
JACOB (Ch.)	T	Géologie.	DRACH (P.)		Zoologie.
PASCAL (P.)	T	Chimie générale.	KASTLER		Physique.
RAMART-LUCAS (M ^{me})	T	Chimie organique.	CHÂTELET	T	Arithmétique et Théorie des nombres.
FOCH	T	Mécanique physique et expérimentale.	ÉPHRUSSI	T	Génétique.
PAUTHENIER	T	Électrotechnique générale.	WURMSER	T	Biologie physico-chimique.
BROGLIE (L. DE)	T	Théories physiques.	BAUER	T	Chimie-Physique.
JOB	T	Chimie générale.	RIVIÈRE		Géologie (P.C.B.).
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparées.	GAUTHERET		Biologie végétale (P.C.B.).
COMBES	T	Physiologie végétale.	LUCAS		Physique.
GARNIER	T	Géométrie supérieure.	THOMAS (A.)		Évolution des êtres organisés.
PÉRÈS	T	Mécanique rationnelle.	ARNULF		Optique appliquée.
HACKSPILL	T	Chimie minérale.	MORAND (Max)		Physique.
LAUGIER	T	Physiologie générale.	SOLEILLET	T	Physique.
TOUSSAINT	T	Technique Aéronautique.	FORTIER	T	Mécanique expérimentale des fluides.
CURIE (M.)	T	Physique (P.C.B.).	DANJON	T	Astronomie.
RIBAUD (G.)	T	Hautes températures.	FROMAGEOT		Chimie biologique.
CHAZY	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.	LAPORTE		Physique générale et Radioactivité.
CROZE	T	Physique théorique et Physique céleste.	JANET		Mathématiques générales.
DUPONT	T	Théories chimiques.	PETIT	T	Biologie maritime.
VALIRON	T	Calcul différentiel et Calcul intégral.	QUENEY	T	Météorologie et Dynamique atmosphérique.
BARRABÉ	T	Géologie structurale et géologie appliquée.	GALLIEN		Biologie animale (P.C.B.).
VAVON	T	Analyse et mesures chimiques.	EICHHORN		Biologie végétale (P.C.B.).
DARMOIS (G.)	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	CUGNAC (DE)		Biologie végétale (P.C.B.).
BOURCART (Jacques)		Géographie physique et Géologie dynamique.	LAVAL		Physique (P.C.B.).
AUBEL	T	Chimie biologique.	CAUCHOIS (M ^{lle})		Chimie-Physique.
JOLIOT-CURIE (M ^{me})	T	Physique générale et Radioactivité.	THELLIER		Physique du Globe.
PLANTEFOL	T	Botanique.	AUDUBERT		Électrochimie.
CABANNES	T	Recherches physiques.	L'HÉRITIER		Génétique.
GRASSÉ	T	Évolution des êtres organisés.	GRIVET	T	Radio-Électricité
PRÉVOST	T	Chimie organique.	PONCIN		Mécanique des fluides.
BOULIGAND	T	Application de l'analyse à la Géométrie.	THIRY	T	Mécanique appliquée.
CHAUDRON	T	Chimie appliquée.	DUBREIL		Mathématiques générales.
WYART	T	Minéralogie.	QUELET		Chimie (P.C.B.).
TEISSIER	T	Zoologie.	CAGNIARD		Géophysique appliquée.
MANGENOT	T	Biologie végétale.	CHAMPETIER		Chimie appliquée.
AUGER (P.)	T	Physique quantique et Relativité.	CUVILLIER		Géologie structurale et Géologie appliquée.
MONNIER		Physiologie générale.	JUNG		Pétrographie.
PIVETEAU	T	Géologie.	TRILLAT		Physique (P.C.B.).
ROCARD	T	Physique.	WIEMANN		Chimie (P.C.B.).
CARTAN (H.)	T	Mathématiques générales.	LICHNEROWICZ		Mathématiques.
			JACQUINOT		Physique (P.C.B.).
			VASSY		Physique de l'atmosphère.
			DESTOUCHES		Théories physiques.

Secrétaire MONIER (Ch.).

**ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES
PHYSIOLOGIQUES ET ACOUSTIQUES FONDAMENTAUX
DE LA VOIX CHANTÉE**



A Monsieur

LOUIS LAPICQUE

Membre de l'Académie des sciences et de l'Académie de médecine,
Professeur honoraire à la Sorbonne,

*qui a bien voulu s'intéresser à mes travaux dès 1933,
les suivre, les encourager, — et les aider —, et en
présenter les résultats à l'Académie des sciences de Paris.*

Hommage infiniment respectueux et reconnaissant.

A Messieurs

YVES ROCARD

Professeur à la Faculté des sciences de Paris,
Directeur du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure,

ET

A.-M. MONNIER

Professeur de physiologie générale à la Sorbonne,

*dont l'amitié, les conseils, — et aussi le
réconfort moral —, m'ont été si précieux.*

Hommage de gratitude et d'amitié.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547113_0031

A Madame

MERCÉDÈS V.-A. DE CHAVÈS

Directrice de l'Institut de phonétique de Buenos-Ayres,
Professeur à l'Université de La Plata,
Doctissimarum doctissimæ,

dont l'aide matérielle et morale m'a été si précieuse.

Hommage respectueux de gratitude affectueuse.

A Monsieur

DESIDER WEISS

M. D.,

Secrétaire général de la Société internationale de phoniatrie et de logopédie,
qui découvrit le couplage du larynx et du résonnateur pharyngo-buccal,

auquel je redois beaucoup dans l'ordre des idées.

Hommage reconnaissant et particulièrement cordial.

A mes Maîtres en technique vocale,

ALFRED LABRIET †

Ancien professeur au Conservatoire de musique de Nancy,
Membre de l'Union des maîtres du chant français,
et qui fut marqué par le Génie,

ET

JEAN BOURBON †

de l'Opéra,
Membre de l'Union des maîtres du chant français,

Hommage d'affectueuse gratitude.

A mon Maître en déclamation lyrique,

ANDRÉ RICHARD

de l'Opéra et de l'Opéra-comique,
Membre de l'Union des maîtres du chant français,
Comédien et pédagogue prestigieux,
— et héros de la Résistance —,

devenu collaborateur et ami.

Hommage reconnaissant et amical.

Cette thèse a été méditée dès 1922, et composée de 1932 à 1950, en vue de la plus grande gloire du chant français, personnifié pour le Passé par les membres de l'Union professionnelle des Maîtres du chant français, pour le Présent par l'ensemble des Artistes de la réunion des théâtres lyriques nationaux, et pour l'Avenir par les élèves du Conservatoire national de musique et de déclamation.

RAOUL HUSSON

EXPOSÉ SOMMAIRE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ÉVOLUTION DES PRÉSENTES RECHERCHES

§ I. — *Mes recherches sur la phonation ont, de fait, commencé en 1922. Elles représentent vingt-huit années de travail intermittent, conduit avec des moyens expérimentaux disparates et hors de la disposition d'un laboratoire outillé en vue de telles recherches. Elles se sont enfin toujours superposées, jusqu'en 1949, à des occupations professionnelles très-absorbantes et de toute autre nature, ce qui explique l'extrême lenteur de leur maturation.*

§ II. — *De 1922 à 1924, j'ai procédé, avec le regretté A. LABRIET, alors professeur au Conservatoire de Nancy, à l'analyse de toutes les voyelles chantées, émises sur toutes les notes d'une tessiture masculine, du sol¹ au sol³, analyse effectuée à l'aide d'un résonnateur universel (du type abbé ROUSSELOT) obligeamment mis à notre disposition par C. GUTTON, alors professeur de physique à la Faculté des sciences de Nancy.*

De ces longues et fastidieuses analyses sortirent trois Notes aux Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, présentées, en 1925 et 1927, par le regretté Georges URBAIN, aussi distingué musicologue que savant chimiste.

J'acquis déjà la conviction que, dans la formation de la voix chantée, le rôle d'une certaine appropriation des cavités pharyngée et buccale, relativement à la fourniture complexe offerte par le larynx, devait être primordial dans la genèse des voix puissantes et durables. Cette considération de caractère normatif est d'ailleurs, dans le chant, inséparable de toute recherche de caractère purement descriptif, comme j'aurai amplement l'occasion de le montrer.

Je fis à cette époque la connaissance de l'abbé ROUSSELOT, alors titulaire de la chaire de phonétique expérimentale au Collège de France, et de son assistant l'abbé MILLET, lequel devint, par la suite, professeur de phonétique expérimentale à l'Institut catholique de Paris. Une bonne amitié devait bientôt m'unir à ce dernier, cimentée par de communes préoccupations scientifiques, et que la mort seule de cet homme charmant et de ce fin expérimentateur devait interrompre en 1937.

§ III. — *L'outillage dont disposaient les laboratoires de phonétique à cette époque, orienté presque exclusivement vers l'enregistrement et l'analyse des sons du langage, ne me permit aucunement d'aborder l'étude des phénomènes fondamentaux de la phonation. Et cela jusqu'en 1932.*

En 1932, les frères SÉGUIN construisirent deux stroboscopes excellents, le stroboret et le stroborama. Leur adaptation à l'observation du larynx avait été aménagée sur les indications du Dr Jean TARNEAUD, oto-rhino-laryngologiste du Conservatoire national de musique et de déclamation de Paris, praticien des plus distingué, doublé d'un chercheur infatigable. Dans son cabinet et à l'aide du premier stroborama construit en France, j'examinai, le 23 avril 1932, entre 21 h et 1 h 30 du matin, deux larynx en phonation : celui d'un ténor et celui de M^{me} TARNEAUD, mezzo-soprano.

L'instrument de recherche était de premier ordre. Pour me permettre de l'utiliser, le Dr TARNEAUD m'accepta comme assistant bénévole à sa consultation hebdomadaire de phoniatry de l'hôpital Bellan où, pendant cinq années, de 1933 à 1938, je pus examiner, à ses côtés, environ six cents larynx en phonation, soit sur des chanteurs consultants, soit sur des élèves du Conservatoire invités par lui.

Cette période de recherches fut particulièrement fructueuse en résultats. Outre une classification complète des modes vibratoires normaux, paranormaux et pathologiques des cordes vocales que je pus élaborer peu à peu, je découvris, en 1933, l'existence d'une réaction exercée sur la vibration des cordes vocales par la mise en résonnance des masses d'air pharyngo-buccales pendant le chant (C. R. Ac. Sc., 196, 1933, p. 1535), et, en 1935, poursuivant l'étude de ce phénomène, je parvenais à montrer qu'il fallait voir, dans cette réaction, la genèse des passages de la voix, bien connus des chanteurs (C. R. Ac. Sc., 200, 1935, p. 1630).

Il serait injuste, de ma part, de ne point dire, ici, tout ce que je dois, dans ces recherches, au Dr TARNEAUD. Sa bonne grâce à m'initier au maniement du laryngo-stroboscope ne fut égale que par sa patience à en discuter avec moi les observations ; ses vastes connaissances de

praticien et sa sagacité me furent précieuses à bien des titres. Poursuivant d'ailleurs l'étude des mêmes phénomènes en clinicien, il montrait de son côté que la réaction du résonateur pouvait, dans certaines conditions, donner naissance à des troubles de la vibration susceptibles de dégénérer en parésies diverses, mettant ainsi en évidence une pathogénie réactionnelle des plus intéressantes.

§ IV. — Les résultats indiqués plus haut furent présentés à l'Académie des sciences de Paris par Louis LAPICQUE, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, alors titulaire de la chaire de physiologie à la Sorbonne. L'illustre fondateur de la physiologie nerveuse moderne fit plus : il s'intéressa à ces recherches modestes et, dans une série de conversations qu'il m'accorda en 1935, me mit sur la voie d'une nouvelle explication de la vibration des cordes vocales, infiniment plus sérieuse que la vieille théorie myoélastique classique.

Ces vues nouvelles plaçaient la genèse de la vibration sur le terrain de la physiologie nerveuse pure, qu'il me fallut labourer à mon tour en élève consciencieux. Je connus ainsi A.-M. MONNIER, alors assistant de Louis LAPICQUE et aujourd'hui son successeur dans sa chaire magistrale, qui s'intéressa lui-même à ces questions et m'aida fort obligeamment dès cette époque. Inséparables dans tant de travaux de la plus remarquable qualité, je ne puis moi-même les séparer de ma gratitude.

§ V. — Pendant que, dès cette date, je rassemblais des observations très-diverses en vue d'étayer et de préciser ces vues nouvelles, j'eus l'idée de voir ce qui subsistait de la vibration des cordes vocales chez des sujets atteints de troubles centraux divers. Avec un stroboscopia aimablement mis à ma disposition par P. FOUCHÉ, directeur de l'Institut de phonétique de Paris, je me rendis trois mois durant, tous les jeudis, à l'Hospice de Bicêtre, où j'examinai laryngo-stroboscopiquement une vingtaine de grands malades typiques du service du professeur ALAJOUANINE ; leurs caractéristiques cliniques m'étaient fournies par le Dr André OMBREDANE, assistant de la chaire de psychologie pathologique à la Sorbonne et vieil ami. Nos efforts conjugués ne furent pas vains, et les résultats en sont relatés dans le présent travail.

Pour l'exécution de ce programme très-particulier d'observations, — unique dans toute la littérature phoniatrice internationale, — Louis LAPICQUE me fit accorder une bourse de recherches de 6500 francs de la Caisse nationale des sciences, somme assez importante pour l'époque. Ce fut d'ailleurs la seule aide matérielle que je sollicitai et reçus en vingt-huit années, en dehors bien entendu des instruments divers qui me furent prêtés.

§ VI. — J'avais commencé la rédaction de la troisième partie de cette thèse en 1938, lorsque parurent, sur le même sujet, les travaux du Dr Desider WEISS, de Vienne

(Autriche), et du professeur Ferdinand TRENDELENBURG, de Berlin. Bien que divergents, il me fallut en tenir compte. Le Dr WEISS vint à Paris, sur ces entrefaites, et m'apporta le tube de cuivre de 1^m,50 avec lequel il avait conduit ses ingénieuses expériences tendant à mettre en évidence la réaction sur le larynx d'un résonateur artificiel accolé au résonateur buccal, et me pria de les refaire. Ce que je fis, mais avec des points de vue un peu différents.

La mobilisation d'août-septembre 1938, puis la guerre en 1939, interrompirent la rédaction commencée.

§ VII. — L'occupation, puis la libération, m'ayant absorbé par des préoccupations diverses, le fil de mes recherches ne fut repris qu'en 1948, à l'occasion du réveil de l'activité des phonéticiens qui se manifesta par le Congrès international de Bruxelles (août 1948), congrès qui amena notamment à Paris, pour plusieurs mois, la meilleure phonéticienne de l'époque actuelle, M^{me} Mercédès V.-A. DE CHAVÈS, directrice de l'Institut de phonétique de Buenos-Ayres et professeur à l'Université de La Plata. L'achèvement de ce travail est dû pour beaucoup à sa flatteuse et pressante insistance.

Un fait inattendu devait d'ailleurs le faciliter : je fus mis, en décembre 1948, après vingt années de services, à la retraite par compression des cadres de mon administration (Loi du 3 septembre 1947), de préférence à une centaine de vieux militaires, — dont certains déjà retraités —, introduits dans les cadres par le gouvernement de Vichy. Disposant, dès cette date, de loisirs forcés, j'ai pu reprendre l'ensemble des présentes recherches et envisager une rédaction nouvelle et définitive.

§ VIII. — Toutefois, en vue de combler certaines lacunes et de préciser certains points, j'ai demandé au Dr Édouard J. GARDE, chef de la consultation de phoniatrice de l'hôpital Boucicaut et jeune praticien de la plus grande valeur, de réaliser sur moi-même certaines expériences et certaines observations de contrôle. Elles seront décrites et discutées plus loin, y compris celles — également uniques dans toute la littérature phoniatrice internationale — ayant consisté à étudier sur moi-même la vibration des cordes vocales et les modalités d'exécution du passage du mi³ avec une cocaïnisation poussée des thyro-aryténoïdiens internes.

Ces ultimes recherches expérimentales furent effectuées de janvier à avril 1950. Le Dr GARDE y apporta un empressement inlassable et un zèle intelligent, qui me furent des plus précieux, comme bien on pense, auxquels s'ajoutèrent l'aide dévouée de son collègue le Dr BLANCHET, pour différentes expériences où il fallait deux observateurs expérimentateurs, et d'André RICHARD, de l'Opéra et de l'Opéra-Comique. Je ne puis les payer de leur peine que par ma gratitude, dont je leur renouvelle l'expression par ces lignes.

Louis LAPICQUE voulut bien, de nouveau, accepter d'en communiquer les premiers résultats à l'Académie des sciences de Paris, le 6 mars 1950.

§ IX. — *Tel est le résumé fidèle, mais succinct, des principales étapes de mes recherches concernant la phonation, et plus particulièrement la physiologie de la voix chantée.*

Je crois devoir ajouter que, parmi toutes les personnes que j'ai citées dans les lignes qui précèdent et auxquelles,

à divers titres, ma reconnaissance est acquise, c'est sans contredit à Louis LAPICQUE que doit aller la plus grande part. J'ai toujours pressenti et ressenti, de lui-même, une bonté particulière, une indulgence subtile, et comme une secrète bienveillance, qui me touchaient profondément, et qui m'ont souvent fait regretter de n'avoir pris, en 1921, le chemin de la « Nature », chemin qui m'aurait fait bénéficier de son enseignement direct et sans doute conduit aujourd'hui à rédiger un travail infiniment plus digne de lui et d'une discipline qui lui doit tant.

(Paris, le 18 mars 1950)

ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUES ET ACOUSTIQUES FONDAMENTAUX DE LA VOIX CHANTÉE

PAR

RAOUL HUSSON

SOMMAIRE DE LA PREMIÈRE THÈSE

INTRODUCTION

Sur certaines particularités des phénomènes phonatoires humains et quelques-unes de leurs conséquences.

Première partie

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES

- Chap. I. — Observations laryngo-stroboscopiques faites dans des conditions ordinaires (modes vibratoires normaux).
- Chap. II. — Observations laryngo-stroboscopiques faites dans des conditions ordinaires (modes vibratoires para-normaux et pathologiques).
- Chap. III. — Expériences et observations laryngo-stroboscopiques avec forte cocaïnisation des cordes vocales.
- Chap. IV. — Observations laryngo-stroboscopiques sur des sujets présentant des lésions centrales.
- Chap. V. — Expériences avec un résonnateur adjuvant.
- Chap. VI. — Expériences et observations laryngo-stroboscopiques avec assourdisseur (avec ou sans résonnateur adjuvant).
- Chap. VII. — Expériences et observations de divers auteurs, rapportées et utilisées.

Deuxième partie

PHYSIOLOGIE DE LA VIBRATION DES CORDES VOCALES

- Chap. VIII. — La théorie myo-élastique classique : ses insuffisances et ses incompatibilités.
- Chap. IX. — Les éléments fondamentaux d'une théorie neuro-chronaxique.
- Chap. X. — Le conditionnement du son laryngien, en hauteur, en intensité, et en timbre, dans la théorie neuro-chronaxique (considérations psycho-physiologiques).

Troisième partie

LE COUPLAGE DU LARYNX ET DU RÉSONNATEUR PHARYNGO-BUCCAL

- Chap. XI. — La réaction du résonnateur pharyngo-buccal sur la vibration des cordes vocales.
- Chap. XII. — Physiologie des passages et des registres de la voix chantée (Hommes).

CONCLUSIONS

Les faits nouveaux apportés par le présent travail.

BIBLIOGRAPHIE. — TABLE DES NOMS CITÉS.

PREMIÈRE PARTIE

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES

INTRODUCTION

SUR CERTAINES PARTICULARITÉS DES PHÉNOMÈNES PHONATOIRES HUMAINS ET QUELQUES-UNES DE LEURS CONSÉQUENCES

1. Les phénomènes phonatoires, chez l'Homme, tant en raison de leur cadre anatomique que de leur nature vibratoire, présentent une complexité spéciale et des particularités propres qui rendent leur étude difficile, et qu'il est nécessaire de bien analyser avant d'entreprendre leur observation *in vivo*.

Le point essentiel est qu'en fait il n'existe pas à proprement parler d'*organes phonateurs*.

S'il existe un organe spécialement construit pour la vision et exclusivement utilisé par elle, s'il existe dans l'oreille des structures anatomiques spécialement affectées à l'audition et utilisées uniquement par elle, rien de tel n'existe pour la phonation. Les organes mis en jeu par la phonation ont tous d'autres fonctions, plus primordiales et plus importantes, et ne servent à la phonation qu'occasionnellement et, peut-on dire, *secondairement* : de ce fait, ils ont déjà primitivement une *physiologie propre*, extra-phonatoire, qui souvent vient masquer ou même perturber leur physiologie secondaire phonatoire. Le vibreur lui-même, le larynx, n'échappe pas à la règle. Il a d'abord et surtout un rôle respiratoire et de protection des sacs pulmonaires. En second lieu, son occlusion après inspiration assure la fixité et la rigidité de la cage thoracique nécessitées par l'usage des membres supérieurs. Ce n'est qu'en troisième lieu qu'il est pourvu d'un rôle phonateur.

Tout cela est d'ailleurs bien éclairé par la phylogénie : la fonction phonatoire du larynx apparaît *la dernière*, et les célèbres recherches d'anatomie et de physiologie phonatoires comparées de NÉGUS en font foi. Le rôle phonateur du larynx est lié au mode de vie de certains animaux et résulte de l'apparition d'une organisation spéciale des centres nerveux. La phonation apparaît comme une adaptation fonctionnelle secondaire, surajoutée, imposée plus ou moins brusquement à une anatomie et à une morphologie non prévues pour elle. L'ensemble des organes dits phonateurs : poumons, larynx, cavités sus-laryngées, ne constitue donc pas un organe sensoriel ou moteur spécialement adapté à la phonation,

mais une *association sensori-motrice* utilisée occasionnellement à des fins phonatoires, et cela grâce à des coordinations nerveuses surajoutées à la structure anatomique initiale.

Ce qu'il y a donc de *spécifiquement phonateur* chez l'Homme se réduit probablement à certaines structures nerveuses centrales, ou sinon même à leur spécialisation. D'ailleurs, le Chien et le Singe ont des musculatures identiques à celle de l'Homme : ils ne parlent pas, ne modulent pas, ne chantent pas. Avec son larynx, l'Homme est susceptible de faire du bruit ; il parle et il chante avec son cerveau.

Cette idée essentielle peut paraître banale. Elle n'a pourtant jamais été mise assez en avant dans l'étude de la physiologie de la phonation, qu'elle éclaire cependant à chaque instant, comme je le montrerai. Au surplus, une foule de conséquences importantes en découlent, que je veux rapidement passer en revue, et qui me serviront par la suite.

2. La non-spécificité phonatoire des organes dits phonateurs explique d'abord leur faible rendement énergétique en tant que producteurs d'énergie sonore, comme je l'ai montré, en 1937, après MEYER. La plus forte part de l'énergie mécanique dépensée au niveau du larynx est transmise, par la boîte cartilagineuse du larynx, au squelette thoracique et facial, et absorbée par lui. Et une part encore appréciable de celle qui sort réellement du larynx est, soit absorbée par les parois du résonateur pharyngo-buccal, soit employée à alimenter des turbulences aérodynamiques variées, bucco-pharyngées ou extra-buccales, soit captée par des cavités communiquant mal ou pas du tout avec l'onde vocale extérieure (sinus de la face et cavités nasales).

Mais cette énergie vibratoire *dissipatrice*, détournée de l'onde vocale extérieure, joue un rôle physiologique important et particulier : elle alimente en premier lieu les *sensations internes* du chanteur, sur lesquelles celui-ci règle son exécution *en qualité*, comme j'aurai à en parler plus loin, et elle est en second lieu

l'excitant de nombreuses stimulations intéro- et proprioceptives qui déclenchent, à certains moments, des modifications réflexes, posturales ou autres, de la musculature intrinsèque ou extrinsèque du larynx (je le montrerai notamment dans l'étude des passages); de sorte que l'on peut dire, un peu paradoxalement, que cette énergie dissipée a un rôle physiologique phonatoire plus important que celle qui atteint l'auditeur.

3. En second lieu, greffés sur l'arbre respiratoire, les organes concourant à la phonation bénéficient pour le moins d'une double fonction, vocale et respiratoire, s'exerçant par une innervation unique ou indivise. Et cela est la cause de phénomènes multiples et complexes où la part de physiologie purement phonatoire s'analyse parfois mal, et où elle est souvent en opposition fonctionnelle avec la seconde.

Des faits de cette nature ont été notés depuis longtemps, et LERMOYER a souvent insisté, au siècle dernier, sur l'antagonisme de ces fonctions : antagonisme physiologique, puisque l'inspiration ne peut plus se faire dès que la glotte est en attitude phonatoire, et antagonisme pathologique, puisque les maladies à dyspnée ne sont pas celles à aphonie.

Mais il s'en faut que tous aient été rapportés. Nous citerons encore les suivants : la phonation optimum exige une bonne occlusion vélaire avec la paroi postérieure du pharynx, alors que la respiration par voie buccale est certainement de qualité inférieure à la respiration nasale; la constriction du sphincter laryngien, qui accompagne normalement celle du pharynx, défavorise l'émission des sons aigus; l'émission optimum exige le relâchement de la musculature qui élève le maxillaire inférieur, alors qu'elle tend à se contracter en même temps que celle du pharynx (P. RAZAVET); etc. L'éducation vocale devra donc, à ce niveau, *détruire un grand nombre de synergies* existant primitivement, ou du moins *en établir de nouvelles* qui seront mises en jeu pendant la phonation.

On notera aussi que la respiration, pendant le chant, est fort différente de la respiration libre. Alors que celle-ci admet en général un contrôle de niveau bulbaire, et même de niveau très-inférieur dans le sommeil, elle requiert, dans le chant, une activité corticale manifeste. Les différences s'accusent dans la phase expiratrice. De simple *inhibition* en général dans la respiration libre, l'activité nerveuse qui préside à l'expiration phonique devient *volontaire, corticale*, et fortement *contrôlée*. Les « modes respiratoires » classiques de la respiration libre n'ont plus de sens dans le chant, où les actions expiratrices exigées sont sous la dépendance exclusive de la pression sous-glottique à réaliser et à alimenter, et du temps pendant lequel elle doit être soutenue. En conséquence, les

coordinations nerveuses de la respiration pendant la phonation sont entièrement différentes de celles qui règlent la respiration libre, comme l'a déjà observé RABOTNOFF, et il est bien connu qu'au début des études vocales les secondes nuisent parfois à l'établissement des premières.

Enfin, de ce que le larynx est primitivement une dépendance de l'appareil respiratoire, il est le point d'aboutissement d'une foule d'actions réflexes ayant leurs points de départ sur toute la muqueuse respiratoire, soit nasale et sinusale, soit bucco-pharyngée, soit laryngée et broncho-pulmonaire, réflexes qui sont tantôt d'abduction, tantôt d'adduction et de chasse. Certaines de ces actions suivent la voie sympathique et influent sur le tonus de la musculature intrinsèque du larynx. J'aurai l'occasion d'en étudier une qui, à point de départ pharyngé et laryngé, et empruntant le laryngé externe, détermine en certains points de la tessiture des modifications posturales sensibles dans la statique générale des muscles du sphincter laryngien (passages du *mi*³ chez les hommes et du *mi*⁴ chez les femmes). Quoi qu'il en soit, la multiplicité, la diversité de ces *actions réflexes*, tantôt excitatrices et parfois inhibitrices, dont le retentissement vocal est plus ou moins important, compliquent sérieusement l'étude de la physiologie purement phonatoire des organes dits phonateurs de l'arbre respiratoire, sans que ces actions puissent être cependant ignorées ou laissées de côté.

4. Une autre source de complication provient de ce que, phylogénétiquement, le développement de la fonction phonatoire — au moins chez les Mammifères supérieurs — s'est fait *sous le contrôle de l'oreille*. D'où l'existence de relations certaines, particulièrement étroites chez l'Homme, entre la physiologie propre du vibrateur laryngien et celle de l'oreille interne. J'aurai d'ailleurs à en dire quelques mots dans la deuxième partie de ce travail.

De ce lien résulte toute une série de faits physiologico-acoustiques fort intéressants, dont je citerai seulement les deux suivants :

1° Les *sons des voyelles* se sont formés par adaptation aux sons de la nature les mieux perçus par l'oreille, comme l'ont déjà vu BEZOLD et NADOLECZNY. Il en résulte que ces derniers sons, par réciprocité, nous paraissent maintenant posséder une « vocalité », c'est-à-dire une parenté acoustique plus ou moins marquée avec l'une ou l'autre des voyelles. Conséquence inattendue : les expériences de *synthèse* du timbre des voyelles ne signifient rien, car elles donnent toujours un résultat positif. Que l'on se serve de résonnateurs, de cavités relancées *in tempo*, de sirènes comme MARAGE, de sons simples ou complexes, de doubles formants produits électriquement comme

KUCHARSKY, etc., on arrive toujours à imiter assez proprement le timbre de toutes les voyelles. Mais le scieur de bois produit des *i* convenables, et le visiteur qui frappe à la porte se manifeste par la voyelle *o*.

2° La suppression de l'audition sur certaines fréquences (scotomes auditifs) altère ou supprime la vibration du larynx sur les mêmes hauteurs tonales. Ce fait est si important que j'aurai à y revenir assez longuement, par le canal d'observations précises (Première partie).

5. Autre source de complication, dont l'étude forme l'objet même de la Troisième partie de ce travail : les phénomènes de résonnance qui ont leur siège dans la cavité pharyngo-buccale pendant la phonation, *réagissent* sur la vibration des cordes vocales. Si cette réaction ne modifie pas en général la hauteur du son émis, elle en modifie le timbre et l'intensité. Et surtout, elle apparaît comme modificatrice des conditions de la vibration, soit en la facilitant, soit en l'entravant.

D'où la genèse réactionnelle d'une foule de faits physiologiques et même parfois pathologiques intéressant cette vibration : stimulation proprioceptive de modifications posturales réflexes (passages); changement dans le mode vibratoire; déclenchement de suppléances diverses; apparition de myopathies du thyro-aryténoïdien interne, etc.

6. Enfin, dernier fait auquel je m'arrêterai, et qui traduit bien la réalité éminemment complexe de la physiologie de la phonation : la *voix parlée* et la *voix chantée* apparaissent comme deux modes d'utilisation extrêmement différents — si paradoxal que cela paraisse — de l'*association sensori-motrice phonatoire*.

Les différences portent déjà sur la vibration des cordes vocales. Dans le chant, cette vibration, comme je le montrerai, admet une commande corticale et une régulation extéroceptive auriculaire. Rien de tel dans la voix parlée, où le niveau de contrôle habituel n'est plus cortical, et où la fréquence vibratoire n'est d'ailleurs pas tenue.

Elles portent aussi sur l'emploi des cavités sus-laryngées. Alors que, dans le chant, celles-ci admettent une appropriation en forme et volume qui déclenche des phénomènes de résonnance intenses et typiques, rien de tel n'apparaît dans le langage parlé, où leur accord est le plus souvent très-faible (d'où fatigue d'origine réactionnelle dès qu'en parlant on s'éloigne de l'intonation et de l'intensité habituelles).

Elles portent également sur les coordinations respiratoires. Dans le chant, c'est la pression sous-glottique à obtenir et la durée de sa tenue qui règlent les actions musculaires inspiratrices et expiratrices. Dans la parole, c'est surtout le débit articulatoire qui est le gros consommateur de souffle, et il ne requiert

d'ailleurs que des pressions sous-glottiques beaucoup plus faibles, mais renouvelées plus souvent et plus facilement.

Elles portent enfin sur les aspects énergétiques et pallesthésiques de ces deux modes d'utilisation de l'association sensori-motrice phonatoire. Dans la voix parlée, la dépense énergétique générale est relativement faible, et les sensations internes ressenties peu intenses et mal localisées. Dans le chant, la dépense est comparativement énorme, et elle alimente par voie dissipative des sensations internes très-intenses et étroitement localisées, variables avec la voyelle émise et la hauteur d'émission, et dont le rôle est si important que leur étude constitue un véritable chapitre de la physiologie de la voix chantée.

Aussi n'est-il pas étonnant qu'entre voix parlée et voix chantée les éléments caractéristiques soient le plus souvent complètement dissociés : ténor à intonation habituelle grave; basse à intonation habituelle aiguë; voix chantée puissante accompagnée d'une voix parlée très-modeste, ou inversement; etc. Et cette dissociation s'étend aux altérations fonctionnelles et aux dysfonctionnements : de nombreux troubles de la parole, comme le bégayement, n'affectent nullement la voix chantée; et un grand nombre de troubles de la voix chantée, non organiques bien entendu, n'affectent en rien la voix parlée du même sujet.

De même que le rire et le pleurer sont deux expressions bien distinctes utilisant une même musculature, la voix parlée et la voix chantée, tout en utilisant un ensemble organique identique, résultent en réalité de la mise en jeu de coordinations nerveuses totalement différentes appliquées à une même association sensori-motrice. De même qu'il y a une physiologie du rire et une physiologie du pleurer, il existe une physiologie de la voix parlée et une physiologie de la voix chantée. C'est pour avoir méconnu cette distinction que l'une ou l'autre, sous certaines plumes cependant autorisées, contiennent parfois des erreurs ou des obscurités choquantes.

7. Rien de ce qui vient d'être dit n'était inutile. Je montrerai à différentes reprises que seule une vue suffisamment juste de la complexité des phénomènes phonatoires permet de séparer, dans l'étude de la physiologie de certains organes à fonctions multiples, comme le larynx, la part *phonatoire* de celle qui ne l'est pas.

Pour le larynx notamment, la physiologie non phonatoire avait jusqu'à présent été confondue avec l'autre, et même prise pour elle. Leur séparation pose des problèmes nouveaux et paraît devoir entraîner diverses conséquences sur le terrain de la pathologie et de la thérapeutique.

PREMIÈRE PARTIE

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES

CHAPITRE I

OBSERVATIONS LARYNGO-STROBOSCOPIQUES FAITES DANS DES CONDITIONS ORDINAIRES (Modes vibratoires normaux.)

8. Les observations rapportées dans ce chapitre ont trait aux modes vibratoires normaux des cordes vocales, et ont été faites directement au laryngo-stroboscope dans les conditions ordinaires de son emploi, c'est-à-dire sans modifications adjuvantes telles que : cocaïnisation du larynx, emploi d'un assourdisseur, etc.

Les observations relatives aux modes vibratoires non normaux, ainsi que celles faites dans des conditions différentes, qui constituent alors de véritables expériences, feront l'objet de chapitres à part, ainsi que celles, très-particulières, faites sur des sujets présentant des lésions centrales.

9. Le laryngo-stroboscope utilisé a toujours été le *stroborama* construit, en 1932, par les frères SÉGUIN, et adapté à l'observation courante du larynx sur des indications du Dr TARNEAUD. C'est un appareil trop connu et d'emploi maintenant trop courant en France pour que je surcharge le présent travail avec sa description, pour laquelle je renvoie, soit à la note initiale du Dr TARNEAUD, parue dans le *Bulletin de l'Académie de médecine* (Séance du 24 mai 1943, t. 107, n° 20, p. 702), soit à l'article du même auteur, paru dans la *Revue de Laryngologie, Otologie, Rhinologie* de Georges PORTMANN (n° 7, juillet-août 1932, Delmas, éditeur. Bordeaux).

Je rappellerai simplement ceci, en ce qui concerne son utilisation :

Il est utilisable dans le grave jusqu'au *la*¹ (109 v. d.), limite au-dessous de laquelle il ne donne plus de son audible et tient mal son régime, ce qui ne permet

malheureusement pas son utilisation aisée pour l'exploration des sons très-graves des basses.

Dans l'aigu, il atteint l'*ut*⁵ (1044 v. d.), ce qui est plus que suffisant puisque des éclairs à une fréquence sous-multiple de celle à observer peuvent convenir parfaitement.

Bien qu'étant un appareil à disque percé de fentes (au nombre de 10), il ne donne pas lieu à un « balayage » sensible, du moins gênant pour l'examen du larynx.

Il est animé par un moteur électrique muni d'un régulateur autostatique excellent, et tient fort bien son régime. S'il est parfois assez sensible aux variations d'intensité du courant électrique du secteur sur lequel il est branché, on y obvie aisément en expérimentant de préférence aux heures creuses de la journée, par exemple entre 14 h et 17 h, pendant lesquelles le courant de secteur varie peu ou pas du tout.

Il présente enfin les avantages suivants : il fonctionne sur courant continu ou alternatif de 110 volts, ou de 220 volts avec une résistance auxiliaire ; il consomme peu (250 watts) ; il est robuste et stable ; il se transporte et se déplace facilement (trépied à roulettes) ; on l'accorde à volonté, sur le son émis par le sujet, en agissant sur un bouton ; il est doté d'un éclairage puissant qui assure une excellente visibilité du larynx ; son emploi ne modifie en rien la technique laryngoscopique ordinaire, puisque le miroir frontal de l'observateur reçoit le faisceau lumineux périodiquement interrompu.

Ces qualités font de lui un appareil de recherche excellent et d'un emploi commode.

Méthode employée pour utiliser le stroborama.

10. L'emploi du stroborama offre toutefois des difficultés particulières qui appellent des précautions corrélatives et exigent même l'emploi d'une technique d'examen un peu spéciale.

Une vue laryngoscopique dure rarement plus de 20 secondes, et porte donc déjà sur 4 ou 5 expirations phoniques, entrecoupées d'inspirations. Il faut alors retirer le miroir, le chauffer de nouveau à la flamme, et le replacer sur la luette du sujet.

Au cours d'une observation, qui dure 4 ou 5 secondes au maximum, on voit les cordes battre avec plus ou moins de rapidité suivant l'accord réalisé entre la fréquence du stroboscope et celle du son émis par le sujet.

Conséquence : on voit les cordes *peu de temps* à chaque observation, et dans des conditions parfois mauvaises.

Pour obvier à cet inconvénient, j'ai dû systématiquement, à chaque observation, borner mon investigation à l'observation d'un seul détail fixé à l'avance.

Exemple : j'observe un *ré*³ émis en voix de poitrine. Je procède successivement ainsi :

Observations 1 à 4 : je porte mon attention sur l'occlusion réalisée en phase de fermeture ;

Observations 5 à 8 : j'observe la région aryénoïdienne ;

Observations 9 à 12 : j'observe l'élongation maximum réalisée ;

Observations 13 à 16 : j'observe le relief apparent de la corde gauche ;

Observations 17 à 20 : j'observe le bord libre de la corde gauche, etc.

Si le travail est de ce fait considérablement allongé, la précision des observations ne saurait être obtenue qu'à ce prix.

11. Également pour éviter la surcharge de ce travail, je ne donnerai ici aucun historique des travaux de stroboscopie appliquée à la physiologie et à la pathologie de la phonation, travaux déjà fort nombreux et qui, pour la plupart, ont paru en langue allemande. Je renvoie, pour cet historique, à l'exposé copieux de Hugo STERN, paru dans les *Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie* (Heft 5, 68^e année, 1934, pp. 569-585), et ayant pour titre : « Hundert Jahre Stroboskopie ».

Je ne citerai, éventuellement, que les travaux antérieurs auxquels je fais un emprunt, une allusion, ou une critique précise.

12. Étant donné le nombre élevé d'observations dont je disposais, j'ai dû, pour en rendre compte, les

grouper en plusieurs classes que, pour faciliter les conclusions à en tirer, j'ai articulées comme suit :

Première classe : observations relatives à l'émission d'un son de hauteur constante avec une pression sous-glottique variable.

Deuxième classe : observations relatives à l'émission d'un son de hauteur variable avec une pression sous-glottique sensiblement constante :

- a) Sons de poitrine ouverts ;
- b) Sons de poitrine couverts ;
- c) Sons de fausset.

Troisième classe : observations relatives à la couverture du son au voisinage du passage du *mi*³.

Quatrième classe : observations relatives à l'émission d'un son quand on change de voyelle ou de couleur de son à hauteur et pression sous-glottique constantes.

Cinquième classe : observations relatives à certains points particuliers du comportement des cordes vocales pendant leur vibration normale.

PREMIÈRE CLASSE

OBSERVATIONS RELATIVES

A L'ÉMISSION D'UN SON DE HAUTEUR CONSTANTE AVEC UNE PRESSION SOUS-GLOTTIQUE VARIABLE

13. On appelle *son filé*, un son pris *pianissimo*, enflé progressivement en intensité jusqu'au *fortissimo*, puis ramené progressivement jusqu'au *pianissimo*, cela en gardant toujours la même hauteur d'émission et, autant que possible, le même timbre de voyelle.

Voici deux excellentes observations faites sur moi par le Dr GARDE, à l'hôpital Boucicaut, le 11 mars 1950, l'une sur un son de poitrine ouvert, l'autre sur un son de poitrine couvert. Elles avaient pour but d'étudier le comportement vibratoire des cordes vocales lorsque la pression sous-glottique croît à hauteur d'émission maintenue constante.

Observation 1. — Son émis : un *è* ouvert sur *ut*³ (261 v. d.), d'abord faible et un peu blanc, puis devenant puissant et de timbre éclatant, puis revenant à un son faible et peu timbré.

Amplitude vibratoire d'abord forte (sur le son *piano*), devenant très-réduite sur le son puissant, tombant ainsi de 2 mm à 1/2 mm de chaque côté (fig. 1).

Dans la phase de fermeture de la glotte, l'accolement des cordes, faible dans le son *piano*, devient beaucoup plus marqué et plus long dans le son *forte*. Sur le son *forte* parvenu à son maximum de puissance, une très-faible composante verticale apparaît sur le bord libre de chaque corde.

Observation 2. — Son émis : un *é* couvert sur *fa dièze*³ (363 v. d.), d'abord *piano* quoique assez timbré, devenant puissant et très-timbré tout en restant bien couvert, puis revenant au son *piano* initial.

L'amplitude maximum du son *piano* de départ est plus réduite que dans le son *piano* de l'observation 1 (*ut*²), et est de 1 mm environ de chaque côté. Quand l'intensité croît, l'amplitude diminue fortement comme dans l'observation 1 et tombe à 1/2 mm de chaque côté (fig. 2).

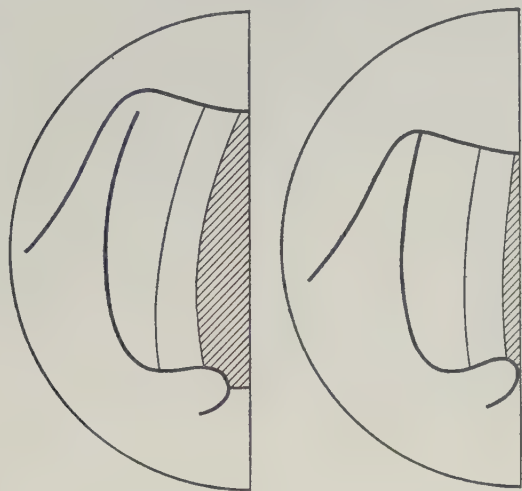


Fig. 1. — PHASE D'AMPLITUDE MAXIMUM DE LA CORDE VOCALE : DANS LE *piano* (à gauche), ET DANS LE *forte* (à droite); *ut*³ OUVERT FILÉ.

Peu de différence dans la phase de fermeture de la glotte sur le *piano* et sur le *forte*, mais l'accolement des cordes y est encore un peu plus marqué sur le son *forte*.

Sur le son *forte*, la petite composante verticale signalée sur l'*ut*², lors de l'observation 1 dans le *forte*, n'est ici presque plus visible.

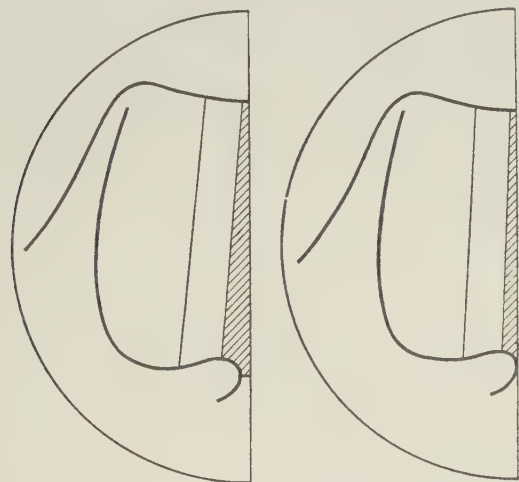


Fig. 2. — PHASE D'AMPLITUDE MAXIMUM DE LA CORDE VOCALE : DANS LE *piano* (à gauche), ET DANS LE *forte* (à droite); *fa dièze*³ COUVERT FILÉ. Comparer avec les figures 1, 3A et 3B de même échelle.

14. L'expérience montre que l'on ne peut pratiquement pas filer un son de fausset. Si on tente de le faire, le poumon se vide de suite faute d'une suffisante fermeture glottique et le son augmente à peine d'intensité. De plus, il tend toujours à baisser légèrement de hauteur. Voici ce que l'on observe au niveau des cordes vocales lorsqu'on tente de tels essais (observations faites sur moi-même à l'hôpital Boucicaut, par le Dr GARDE, le 22 mars 1950).

Observation 3. — Son émis : un *ut*² en fausset sur *è* ouvert, d'abord *pianissimo*, puis que l'on tente d'enfler en augmentant la pression sous-glottique.

Même expérience sur *fa dièze*², puis sur *ut*⁴. Les résultats observés sont identiques.

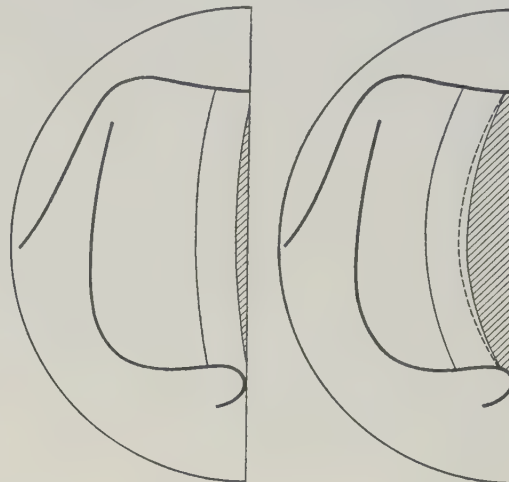


Fig. 3A. — ESSAI DE SON FILÉ SUR *fa dièze*³ EN FAUSSET : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite) DANS LE DÉPART *pianissimo*.

On note sur le fausset *pianissimo* : jamais d'accolement des cordes dans la phase de fermeture; forte elongation dans la phase d'ouverture, avec nette composante verticale du bord libre (fig. 3A).

Quand on tente d'augmenter la pression sous-glottique, on note ceci (fig. 3B) :

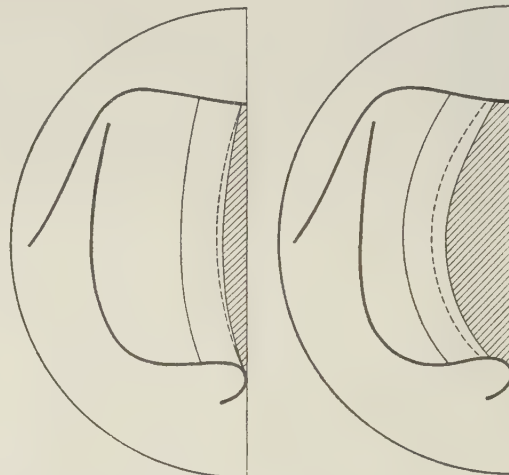


Fig. 3B. — ESSAI DE SON FILÉ SUR *fa dièze*³ EN FAUSSET : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite) DANS LA TENTATIVE D'AUGMENTER L'INTENSITÉ DU SON.

a) Le son émis augmente très-légèrement d'intensité, mais devient plus sourd, plus détimbré.

b) Dans la phase de fermeture de la glotte, l'occlusion devient encore plus imparfaite, les cordes laissant entre elles une sorte de fente plus large que pendant l'émission du son *piano*.

c) L'amplitude de la vibration, c'est-à-dire l'élongation maximum de chaque corde, croît. C'est exactement le contraire de ce qui avait été observé dans le *forte* d'un son filé de poitrine.

d) La composante vibratoire du bord libre des cordes augmente d'importance : elle s'élève plus haut et intéresse une largeur de corde un peu plus grande.

Premières conclusions relatives à l'émission d'un son de hauteur constante et de pression sous-glottique (son filé) :

15. Les faits relatés ci-dessus confirment, point par point, mes observations, de 1933-1937, faites sur des sujets très-divers. Les conclusions suivantes peuvent en être tirées :

1° Quand on augmente l'intensité d'un son de hauteur constante, en voix de poitrine ouverte :

La phase de fermeture devient plus ferme et plus longue ;

L'amplitude, ou élongation maximum de la corde, diminue (elle est donc plus petite dans le *forte* que dans le *piano*) ;

L'apparition d'une très-légère composante verticale dans le *forte* n'est pas constante chez tous les sujets.

2° Quand on augmente l'intensité d'un son de hauteur constante, en voix de poitrine couverte :

La phase de fermeture devient également plus ferme et plus longue, quoique toujours un peu moins que dans le son ouvert de même hauteur et de même intensité ;

L'amplitude, ou élongation maximum de la corde, diminue (elle est donc plus petite dans le *forte* que dans le *piano*), et demeure d'ailleurs toujours plus petite que celle du son ouvert de même hauteur et de même intensité.

Aucune composante verticale n'apparaît jamais, même dans le *forte*.

3° Quand on tente d'augmenter l'intensité d'un son de hauteur constante, en voix de fausset :

L'occlusion de la glotte, en phase de fermeture, déjà incomplète sur un son *piano*, devient encore moins bonne, laissant entre les cordes une fente elliptique plus large.

L'amplitude, ou élongation maximum de la corde, augmente.

La composante verticale, qui intéresse le bord libre de la corde, devient plus large et plus haute.

4° En voix de poitrine, ouverte et couverte, les thyro-aryténoïdiens internes sont certainement contractés et assurent le rappel de la corde vers leur position d'accolement ; leur contraction croît synergiquement avec celle des muscles expirateurs qui élève la pression sous-glottique.

5° En voix de fausset, les thyro-aryténoïdiens internes sont relâchés, ou faiblement contractés, ou partiellement contractés ; le rappel de la corde vers sa position d'accolement est beaucoup plus faible et d'ailleurs incomplet ; leur contraction ne paraît pas croître synergiquement avec celle des muscles expirateurs qui élève la pression sous-glottique.

6° C'est la perfection et la durée de l'accolement des deux cordes vocales en phase d'occlusion qui conditionnent l'éclat ou « mordant » du timbre du son émis.

DEUXIÈME CLASSE

OBSERVATIONS RELATIVES

A L'ÉMISSION D'UN SON DE HAUTEUR VARIABLE, AVEC UNE PRESSION SOUS-GLOTTIQUE SENSIBLEMENT CONSTANTE, EN VOIX DE POITRINE OUVERTE ET COUVERTE ET EN VOIX DE FAUSSET.

16. Les observations qui suivent ont été faites sur moi-même par le Dr GARDE, le 11 mars 1950, à l'hôpital Boucicaut, en vue de contrôler les résultats d'observations que j'avais faites, entre 1933 et 1937, à l'hôpital Bellan, sur plusieurs centaines de sujets, mais conduites à cette époque de façon beaucoup moins systématique.

Observation 4. — Sur *si bémol*¹ (117 v. d.).

Voix de poitrine. — Son émis : un *è* ouvert, un peu écrasé, de faible intensité.

Le larynx ne peut être vu en raison de sa situation basse ; la langue est trop en arrière, et sa protraction forcée hors de la bouche — qui élève le larynx — ne permet plus au sujet d'émettre un son aussi grave.

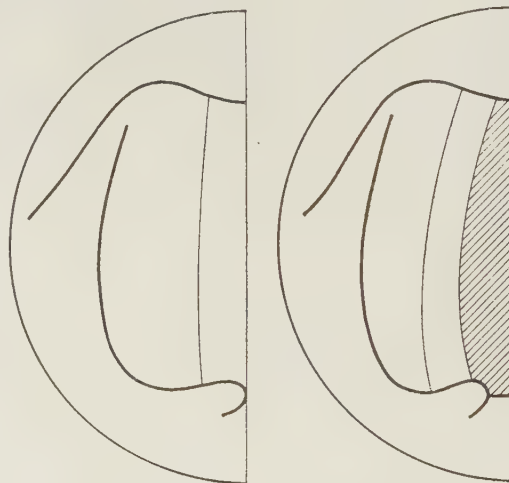


Fig. 4. — VOIX DE POITRINE ÉMISE SUR *ré*² : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

Observation 5. — Sur *ré*² (147 v. d.).

Voix de poitrine. — Son émis : un *è* ouvert, un peu écrasé, d'intensité moyenne.

Les cordes vibrent sur toute leur longueur. Forte amplitude, de 2 mm environ de chaque côté (fig. 4). Accolement glottique rigoureux sur toute leur longueur dans la phase de fermeture.

La rigidité générale des cordes paraît faible, ainsi que celle de l'ensemble de la musculature laryngée. La vibration intéresse nettement la région aryténoïdienne, la glotte intercartilagineuse, les apophyses vocales, et même, semble-t-il, les cartilages aryténoïdes eux-mêmes. Forte amplitude vibratoire à ce niveau.

Observations 6 et 7. — Sur *fa*² (174 v. d.).

a) *Voix de poitrine*. — Son émis : un *è* ouvert, encore un peu écrasé, d'intensité moyenne.

Les cordes vibrent sur toute leur longueur. Forte amplitude, la même que précédemment, de 2 mm environ de chaque côté

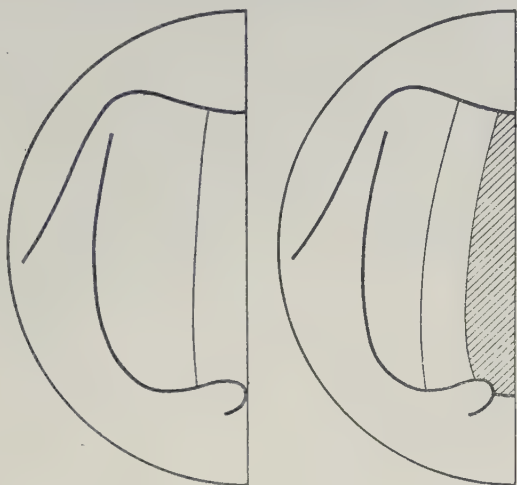


Fig. 5. — VOIX DE POITRINE ÉMISE SUR *fa*² :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

(fig. 5). Accolement glottique rigoureux sur toute leur longueur dans la phase de fermeture. La rigidité des cordes paraît avoir un peu augmenté, ainsi que celle de l'ensemble de la musculature laryngée. Forme de la vibration toujours identique. La vibration intéresse toujours nettement la région aryénoïdienne avec une forte amplitude.

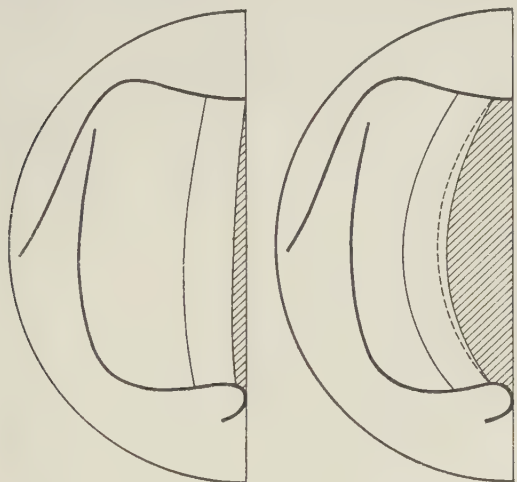


Fig. 6. — VOIX DE FAUSSET ÉMISE SUR *fa*² :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un *è* blanc, détimbré, de faible intensité.

Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur, mais la vibration n'intéresse plus du tout les cartilages aryénoïdes eux-mêmes, ni la région aryénoïdienne. Amplitude vibratoire nettement plus grande que sur le son de poitrine homologue, de 3 mm environ de chaque côté, avec petite composante verticale. La rigidité générale des cordes et de la musculature laryngée fait une chute considérable. Dans la phase de fermeture de la glotte, les cordes ne viennent plus en contact, laissant entre elles une fente vaguement ovoïde de 1 mm de largeur environ à son centre. L'accolement aryénoïdien paraît lui-même incomplet (fig. 6).

Observations 8 et 9. — Sur la *bémol*² (207 v. d.).

a) *Voix de poitrine ouverte*. — Son émis : un *è* ouvert, moins écrasé bien que très-ouvert, d'assez bonne qualité artistique, et d'intensité un peu au-dessus de la moyenne.

Les cordes vocales vibrent toujours sur toute leur longueur.

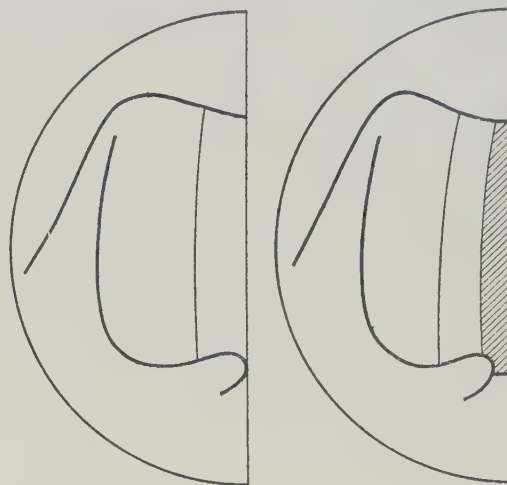


Fig. 7. — VOIX DE POITRINE OUVERTE SUR la *bémol*² :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

L'amplitude est un peu diminuée par rapport à la note précédente, 1^{mm},5 environ de chaque côté (fig. 7). Bon accolement glottique pendant la phase de fermeture. La rigidité des cordes a augmenté assez nettement, ainsi que celle de toute la musculature laryngée. La région aryénoïdienne vibre toujours nettement, mais avec une amplitude un peu diminuée.

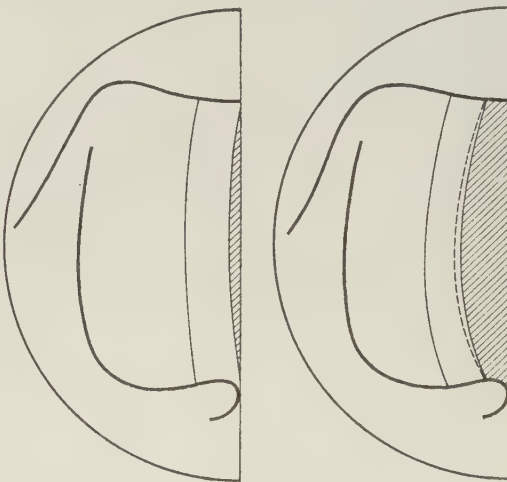


Fig. 8. — VOIX DE FAUSSET ÉMISE SUR la *bémol*² :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un *è* blanc, détimbré, de faible intensité.

Les cordes vibrent sur toute leur longueur, mais la vibration n'intéresse plus la région aryénoïdienne. Amplitude un peu plus faible que sur le son de fausset précédent, mais nettement plus forte que sur le son de poitrine homologue (fig. 8). En passant du son de poitrine au fausset, détente considérable dans la rigidité des cordes et du larynx, et cette détente s'étend au vestibule laryngé, qui s'ouvre comme un calice. Comme précédemment, dans la phase de fermeture, les cordes ne viennent pas complètement en contact. Dans la phase d'écartement, la masse entière de la corde s'écarte, mais le bord libre paraît vibrer plus fort et accuse une nette composante verticale.

Observations 10 et 11. — Sur *ut*² (261 v. d.).

a) *Voix de poitrine ouverte*. — Son émis : un *è* ouvert, de bonne qualité artistique, de forte intensité.

Les cordes vocales vibrent sur toute leur longueur, avec une amplitude un peu plus faible que sur la note précédente (fig. 9).

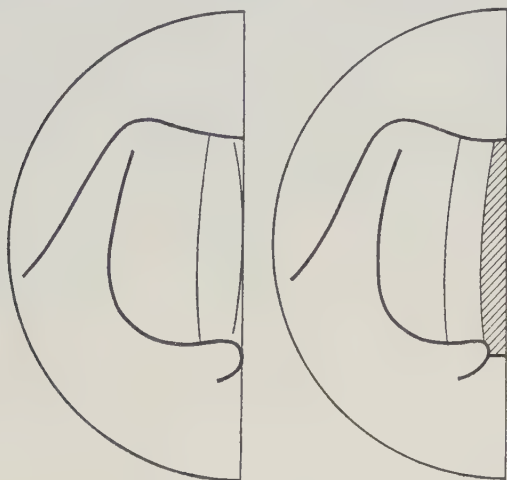


Fig. 9. — VOIX DE POITRINE OUVERTE ÉMISE SUR *ut*² : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

La région aryténoïdienne vibre toujours nettement, mais avec une amplitude un peu diminuée aussi. Bon accolement glottique pendant la phase de fermeture. La rigidité générale des cordes et de toute la musculature laryngée est toujours en nette augmentation.

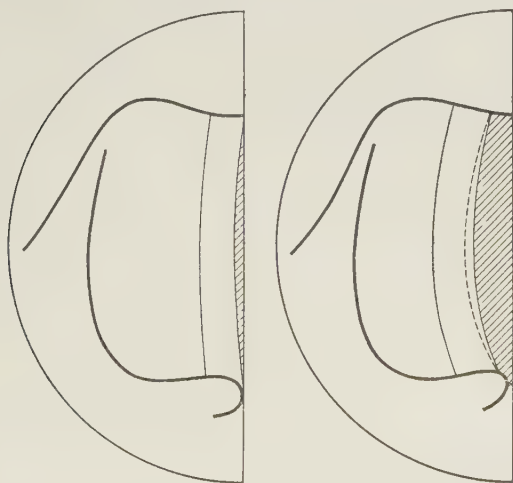


Fig. 10. — VOIX DE FAUSSET ÉMISE SUR *ut*² : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un *è* blanc, détimbré, d'intensité assez faible, mais un peu plus soutenu en souffle que le son de fausset précédent.

Les cordes vibrent sur toute leur longueur, et la région aryténoïdienne vibre aussi très-faiblement. Amplitude plus faible que sur le son de fausset précédent, mais toujours plus forte que sur le son de poitrine homologue (fig. 10). En passant du son de poitrine homologue au fausset, on note toujours une forte détente dans la rigidité des cordes et de tout le larynx, mais ici la rigidité générale reste plus forte que sur le son de fausset précédent. En phase de fermeture, toujours pas d'accolement des cordes. En phase d'écartement maximum, la masse de la corde s'écarte bien, mais la vibration du bord libre est plus accentuée et présente une composante verticale.

Observations 12 et 13. — Sur *mi bémol*³ (310 v. d.).

a) *Voix de poitrine ouverte*. — Son émis : un *è* ouvert, de bonne qualité artistique, de forte intensité.

Les cordes vibrent sur toute leur longueur, mais avec amplitude diminuée, réduite à 1 mm environ de chaque côté (fig. 11).

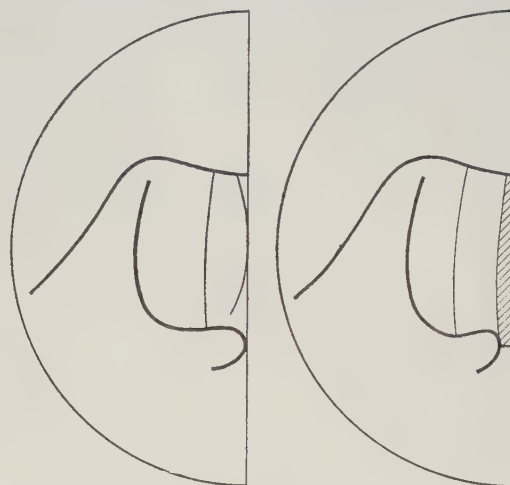


Fig. 11. — VOIX DE POITRINE OUVERTE SUR *mi bémol*³ : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

La région aryténoïdienne vibre encore un peu. Bon accolement glottique pendant la phase de fermeture. Rigidité générale des cordes très-augmentée, ainsi que celle de tout le larynx.

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un *è* blanc, détimbré, d'intensité assez faible, mais un peu plus soutenu en souffle.

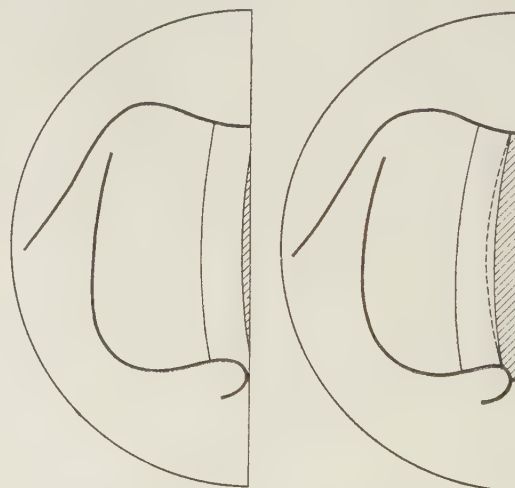


Fig. 12. — VOIX DE FAUSSET SUR *mi bémol*³ : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur, et la région aryténoïdienne faiblement. Amplitude diminuée, mais toujours plus forte que dans le son de poitrine homologue (fig. 12). En phase de fermeture, pas de contact des cordes, mais la partie de la glotte qui reste ainsi béante intéresse une longueur un peu moins grande que dans le son de fausset précédent. En phase d'écartement maximum, c'est toujours la masse de la corde qui s'écarte, mais le bord libre vibre plus fortement que le reste de la corde, et avec une composante verticale nette. Rigidité générale des cordes et de tout le larynx plus faible que sur le son de poitrine homologue, mais la différence de rigidité est ici plus faible et, à ce point de vue, les conditions du fausset se sont sensiblement rapprochées de celle du son de poitrine homologue.

Observations 14 et 15. — Sur fa^3 (348 v. d.).

a) *Voix de poitrine couverte*. — Son émis : un $\acute{e}$ fermé, de bonne qualité artistique, très-intense.

Amplitude diminuée, à peine de 1 mm de chaque côté (fig. 13). Forte occlusion glottique en phase de fermeture. Rigidité

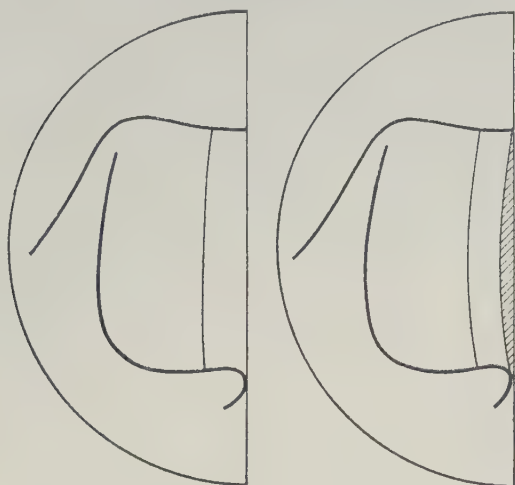


Fig. 13. — VOIX DE POITRINE COUVERTE SUR fa^3 : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

des cordes très-accrue, avec détente dans la musculature du larynx. La région aryénoïdienne vibre encore, mais plus faiblement.

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un $\grave{e}$ blanc, détimbré, d'intensité assez faible, un peu soutenu en souffle.

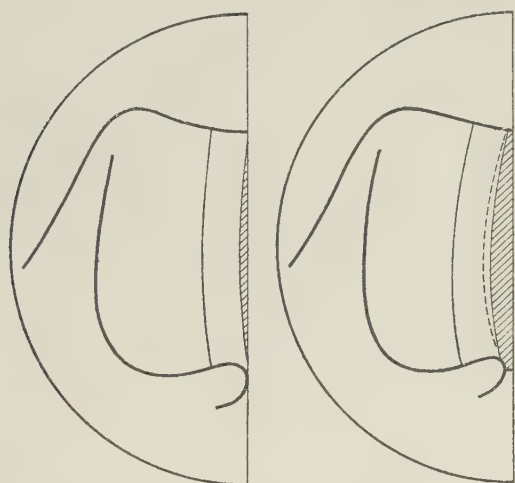


Fig. 14. — VOIX DE FAUSSET SUR fa^3 : PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

Les cordes vibrent sur toute leur longueur, et la région aryénoïdienne faiblement aussi. Amplitude toujours plus forte que dans le son de poitrine homologue. En phase de fermeture, pas de contact des cordes (fig. 14). Le bord libre vibre toujours plus fortement que la masse de la corde, et accuse une composante verticale nette dans la phase d'écartement. Rigidité générale des cordes et de tout le larynx plus faible que sur le son de poitrine homologue, mais encore en augmentation par rapport au son de fausset précédent.

Observations 16 et 17. — Sur $la\flat^3$ (414 v. d.).

a) *Voix de poitrine couverte*. — Son émis : un $\acute{e}$ fermé, intense, encore d'assez bonne qualité artistique.

Amplitude très-faible : de 1/2 mm pour chaque corde vocale

La région aryénoïdienne ne vibre plus, et la partie vibrante paraît réduite aux 4/5 antérieurs. Très-forte occlusion glottique en phase de fermeture (fig. 15). La rigidité des cordes est très-accrue et très-grande, et cette rigidité paraît s'étendre à toute la musculature du larynx.

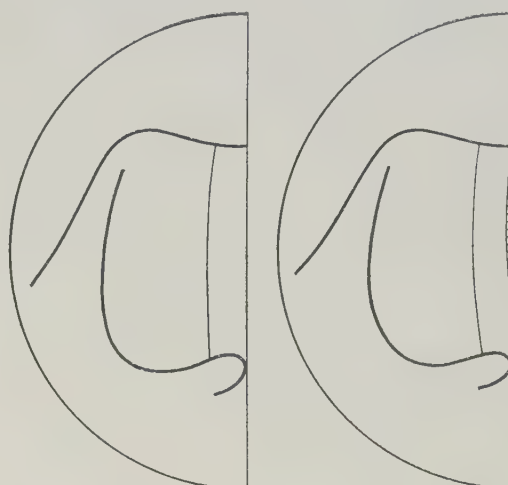


Fig. 15. — VOIX DE POITRINE COUVERTE SUR $la\flat^3$: PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un $\acute{e}$ fermé, blanc, très-peu timbré, d'intensité moyenne.

Les cordes vibrent sur toute leur longueur et la région aryénoïdienne aussi, mais faiblement. Amplitude toujours plus forte que dans le son de poitrine homologue, surtout ici. En

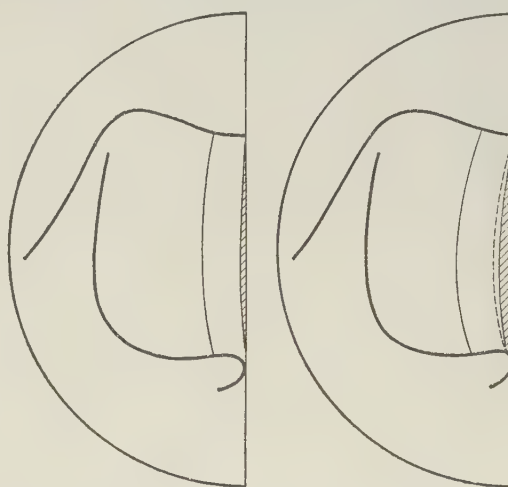


Fig. 16. — VOIX DE FAUSSET SUR $la\flat^3$: PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

phase de fermeture, pas de contact des cordes (fig. 16). Le bord libre vibre toujours plus fortement que la masse de la corde, et présente une composante verticale nette. La rigidité générale des cordes et de tout le larynx est plus faible que pour le son de poitrine homologue, mais a un peu augmenté par rapport au son de fausset précédent.

Observation 18. — Sur la^3 (435 v. d.).

a) *Voix de poitrine*. — Son trop aigu pour être émis par moi en voix de poitrine avec les qualités désirables.

b) *Voix de fausset*. — Son émis : un $\acute{e}$ fermé, blanc, un peu timbré, un peu voisin de i , d'intensité moyenne.

Rigidité générale des cordes et du larynx augmentée. Amplitude réduite par rapport au son de fausset précédent (fig. 17).

Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur, et la région aryténoïdienne aussi, mais faiblement. Toujours pas de contact des cordes en phase de fermeture. Le bord libre vibre toujours plus fortement que la masse de la corde, avec une composante verticale plus faible.

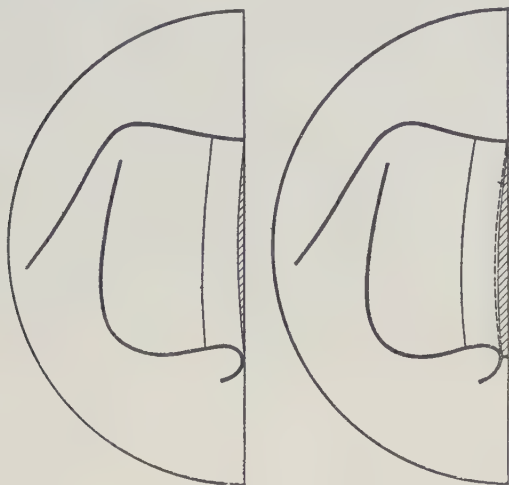


Fig. 17. — VOIX DE FAUSSET SUR la^3 :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

Observation 19. — Sur ut^4 (522 v. d.).

Voix de fausset. — Son émis : un e fermé, blanc, assez timbré, voisin de i , d'intensité moyenne.

Rigidité des cordes et du larynx très-augmentée. Même amplitude que précédemment. Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur, mais la région aryténoïdienne ne bouge

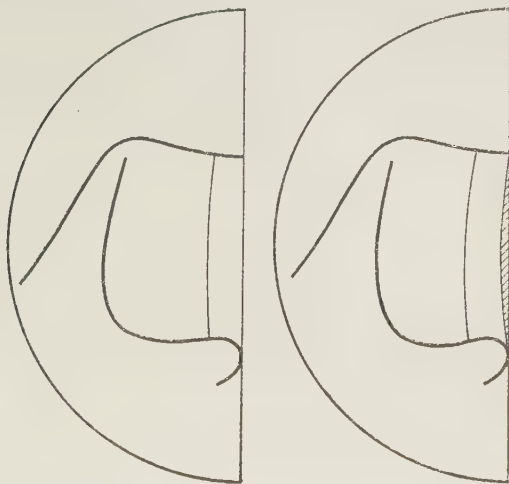


Fig. 18. — VOIX DE FAUSSET SUR ut^4 :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

plus (fig. 18). En phase de fermeture, les cordes paraissent revenir en contact. Le bord libre des cordes paraît plus rigide que dans le son précédent, et vibre moins fort que dans ce son. La composante verticale ne se voit plus.

Observation 20. — Sur mi^4 (652 v. d.).

Voix de fausset. — Son émis : un e fermé, blanc, un peu strident, assez timbré, très-voisin de i , d'assez forte intensité.

Rigidité considérable, tant des cordes que de tout le larynx. Même amplitude que précédemment, soit donc de l'ordre de 1/2 mm de chaque côté (fig. 19). Pendant la phase de fermeture, les cordes reviennent nettement en contact, assurant une occlusion complète. Les cordes vibrent encore sur toute leur longueur, mais la partie postérieure (ou aryténoïdienne) des

cordes vibre moins fort que le reste, c'est-à-dire en s'écartant moins de la ligne médiane. Aussi, la vibration, à première vue, paraît réduite aux deux tiers antérieurs des cordes. Le bord libre paraît très-tendu et ne semble plus vibrer pour son propre compte, et on ne voit plus de composante verticale.

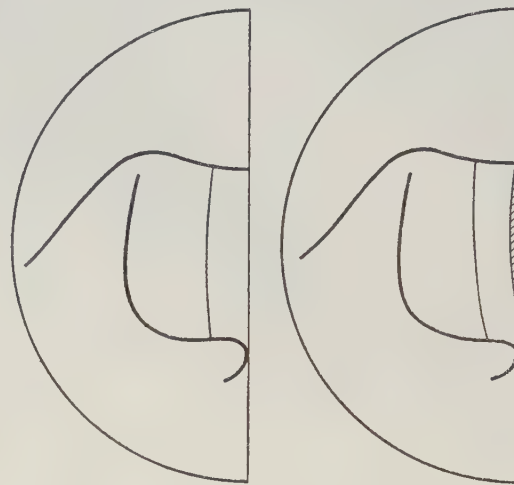


Fig. 19. — VOIX DE FAUSSET SUR mi^4 :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

Observation 21. — Sur sol^4 (784 v. d.).

Voix de fausset. — Son émis : un i blanc et strident, très-serré et intense.

Rigidité extrême des cordes et de tout le larynx. Occlusion complète en phase de fermeture. Les cordes ne paraissent plus vibrer que sur leur partie antérieure (les deux tiers environ),

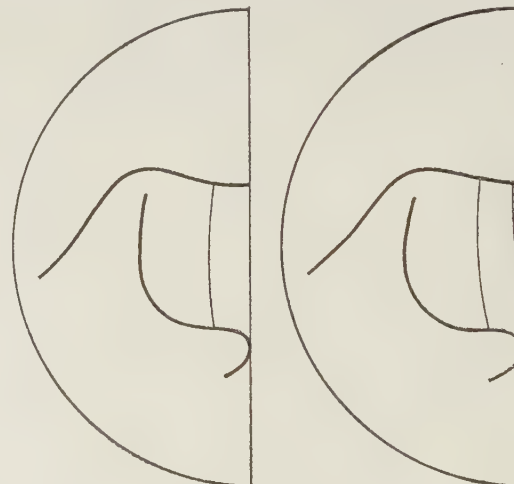


Fig. 20. — VOIX DE FAUSSET SUR sol^4 :
PHASES DE FERMETURE (à gauche) ET D'OUVERTURE MAXIMUM (à droite).

tant l'accolement de la région aryténoïdienne est ferme. Amplitude extrêmement réduite (fig. 20). Le bord libre ne se soulève plus et ne vibre plus pour son propre compte.

Premières conclusions relatives à l'émission des sons de poitrine ouverts.

17. L'observation de la vibration des cordes vocales pendant l'émission des sons de poitrine ouverts, c'est-à-dire pour un baryton jusqu'au mi^3 inclus (pour une basse jusqu'au $ré^3$ inclus, et pour un ténor

jusqu'au *fa*³ inclus), donne lieu aux constatations suivantes :

1° En phase de fermeture, les cordes vocales reviennent en contact sur toute leur longueur, assurant une occlusion complète de la glotte.

Ce rappel et cette occlusion sont de plus en plus énergiques à mesure que la hauteur du son croît.

Sur les sons ouverts les plus aigus, on voit, dès le *ré*³, les cordes boudinées et accolées pendant la phase d'occlusion, avec le relief bombé correspondant.

2° La phase de fermeture paraît plus longue dans l'aigu que dans le grave, mais ce phénomène ne peut être apprécié quantitativement dans les conditions de l'observation.

3° L'amplitude vibratoire, ou élongation maximum d'une corde, atteint 2^{mm},5 dans le grave et diminue progressivement dans l'aigu. Elle n'est plus que de 1/3 mm sur la dernière note ouverte la plus aiguë.

4° Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur, l'amplitude maximum se situant toujours très-près de la région aryténoïdienne.

5° La région aryténoïdienne participe à la vibration de la corde, et avec une grande amplitude dans le grave, qui va diminuant dans l'aigu. On voit nettement, dans cette région, les deux petits mamelons aryténoïdiens vibrer avec le reste de la corde vocale. La partie intercartilagineuse de celle-ci vibre donc.

6° C'est toute la masse de la corde qui s'écarte en phase d'ouverture maximum, donc qui participe à la vibration.

7° Pendant la vibration, le thyro-aryténoïdien interne est certainement contracté, et sa contraction paraît croître du grave à l'aigu. Elle assure le rappel de la corde vers sa position médiane d'accolement. Mais le thyro-aryténoïdien interne n'est peut-être pas le seul muscle dont la contraction assure ce rappel. A partir du *sol*² ou du *la bémol*² en effet, c'est-à-dire à partir de la note où le son prend un caractère nettement « ouvert », il semble que ce rappel soit brusquement plus énergique et l'accolement qui en résulte plus ferme; de plus, la région aryténoïdienne vibre moins fort; ces faits conduisent à penser que, dès cette note, la contraction active de tout ou partie du thyro-aryténoïdien externe interviendrait plus fortement, ainsi que celle du crico-aryténoïdien latéral dont les fibres sont accolées à celles du thyro-aryténoïdien externe.

La note ouverte la plus aiguë correspond donc au maximum de contraction de tout le sphincter laryngien, appelé « muscle crico-thyro-aryténoïdien » par les vieux anatomistes allemands.

Dès cette note, on observe également une contraction intense de toute la musculature laryngée extrinsèque

et même pharyngée, et l'épiglotte tend à se renverser sur le larynx sous l'action des muscles aryténo-épiglottiques, lesquels contiennent des fibres prolongeant celles du thyro-aryténoïdien.

Premières conclusions relatives à l'émission des sons de poitrine couverts.

18. L'expérience montre qu'il est dangereux, pour un chanteur, de monter en voix de poitrine ouverte plus haut qu'une certaine fréquence que l'expérience fixe ainsi : *ré*³, pour les basses ; *mi bémol*³ ou *mi*³, pour les barytons ; *mi*³ ou *fa*³, pour les ténors. Ces limites varient d'ailleurs un peu selon les voyelles émises, que les sons soient nasalisés ou non, et suivant l'intensité de leur émission; elles seront étudiées dans la Troisième partie.

Si le sujet veut continuer à monter en voix de poitrine, il effectue un « passage » et « couvre le son » ; cette dernière appellation correspond aux nouvelles sensations internes ressenties, par lui, dans la cavité pharyngo-buccale.

La description détaillée des faits observés au moment où s'effectue la couverture du son sera faite plus loin (Troisième classe d'observations). Voici simplement les faits constatés pendant l'émission des sons couverts, depuis le passage jusqu'à la limite supérieure de la voix de poitrine couverte.

1° En phase de fermeture, les cordes reviennent en contact sur toute leur longueur, assurant une occlusion complète de la glotte.

Ce rappel et cette occlusion sont de plus en plus énergiques à mesure que la hauteur du son croît.

Pendant leur phase d'occlusion, les cordes vocales ont cependant perdu l'aspect boudiné et le relief bombé qu'elles avaient sur la dernière note ouverte.

2° La phase de fermeture semble plus courte et moins ferme que sur le dernier son ouvert, mais sa longueur paraît croître dans l'aigu.

3° L'amplitude de la vibration est plus petite que pour les sons ouverts, et elle diminue encore dans l'aigu.

4° Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur; mais, à mesure que l'on se rapproche de la limite supérieure de la voix, on voit la région aryténoïdienne vibrer de plus en plus faiblement et garder un quasi-accolement. Dans l'aigu extrême, cet accolement semble s'étendre au cinquième ou au quart postérieur de la glotte interligamenteuse; de sorte que, seule, la partie antérieure restante des cordes vocales paraît participer à la vibration.

5° En phase d'ouverture maximum, c'est toute la masse de la corde vocale qui s'écarte, donc participe à la vibration.

6° Pendant la vibration, le thyro-aryténoïdien interne est toujours contracté et assure le rappel de la corde à sa position d'accolement; toutefois le reste de la musculature laryngée et péri-laryngée marque une certaine détente par rapport aux sons ouverts précédents, et l'épiglotte s'est relevée.

D'autre part, la corde vocale elle-même paraît plus rigide, et son bord libre plus tendu, que pendant l'émission des sons ouverts; cela correspond au fait que, lors du passage, le crico-thyroïdien s'est contracté brusquement.

Dans l'aigu extrême, la contraction générale de toute la musculature laryngée et péri-laryngée réapparaît.

Premières conclusions relatives à l'émission des sons de fausset.

19. Signalons tout de suite que, sous le nom de sons de fausset, les auteurs antérieurs ont décrit deux modes différents de vibration des cordes vocales : l'un est le fausset ordinaire ou véritable, que j'ai observé et décrit dans les lignes qui précèdent; l'autre est une variété de voix de poitrine où la partie vibrante de la glotte se réduit à une portion antérieure plus ou moins longue, que j'ai souvent observée aussi, et que je décris, plus loin, dans la Sixième classe d'observations (vibration « réduite » de TARNEAUD).

Le timbre de ces deux voix est assez voisin, bien que la vibration « réduite » de poitrine donne un son généralement un peu plus « mordant » et plus « timbré » que la véritable voix de fausset. Mais elles se distinguent aisément par un autre caractère : le son de poitrine à vibration « réduite » peut être filé normalement (voir §§ 13 à 15), tandis qu'un son de fausset ne peut l'être.

Cette distinction établie, voici ce que l'on observe dans l'émission des sons de fausset (chez moi : du *fa*² au *sol*⁴).

1° En phase de fermeture, il n'y a jamais occlusion complète de la glotte, sauf dans la quinte suraiguë (octave⁴),

2° En phase d'élongation maximum, les cordes s'écartent toujours beaucoup plus que dans le son de poitrine de même hauteur. Du grave à l'aigu, cette amplitude maximum va cependant en diminuant sans cesse.

3° Les cordes vocales vibrent toujours sur toute leur longueur, mais la région aryténoïdienne vibre beaucoup moins qu'en voix de poitrine et uniquement dans le grave. Dès l'octave³, la région aryténoïdienne ne vibre plus, ou presque plus. L'amplitude maximum est alors atteinte vers le milieu de la glotte interligamenteuse.

Dans le suraigu, le fort accolement de la région aryténoïdienne paraît s'étendre, peu à peu, à une

certaine partie des cordes vocales elles-mêmes et, finalement, dans la tierce suraiguë, les deux tiers antérieurs paraissent seuls vibrer, avec une amplitude d'ailleurs extrêmement réduite (1/4 de mm).

4° En phase d'ouverture ou d'élongation maximum, c'est toute la corde vocale qui s'écarte de la ligne médiane (et non pas uniquement son bord libre). Cela prouve qu'en voix de fausset comme en voix de poitrine, c'est la totalité de la corde vocale qui vibre (et non pas uniquement son bord libre). Ce fait est d'autant moins niable qu'en voix de fausset, l'amplitude de la vibration est toujours notablement plus grande que sur le son de poitrine de même hauteur; si donc on admet que la totalité de la corde vibre en voix de poitrine, il en est de même *a fortiori* en voix de fausset.

5° Le bord libre de la corde présente, de plus, une petite composante vibratoire verticale. Mais il ne s'agit pas d'une vibration propre du genre de celle des anches membraneuses : on observe simplement que le bord libre, insuffisamment tendu ou insuffisamment rigide, se redresse en phase d'ouverture maximum, sans d'ailleurs retomber complètement horizontal en phase de rapprochement des cordes; autrement dit, il est soulevé et redressé par le courant d'air, et le demeure plus ou moins pendant toute la période d'une vibration.

Ce phénomène, mal interprété ou mal observé, a fait dire, jusqu'à présent, que, pendant la voix de fausset, le bord des cordes vocales vibrait seul, ce qui est inexact.

D'ailleurs, dans l'aigu extrême, le bord libre des cordes vocales paraît de plus en plus rigide, la hauteur de son redressement diminue progressivement, et, dans l'octave⁴, cette soi-disant « composante verticale » disparaît.

(Notons encore qu'un phénomène de même nature, appelé improprement apparition d'une « composante verticale » alors qu'il ne s'agit que d'un soulèvement passif du bord libre des cordes par le courant d'air, apparaît parfois en voix de poitrine, soit dans l'émission des sons très-puissants, soit dans les hypotonies du thyro-aryténoïdien interne ou du crico-thyroïdien).

6° En voix de fausset, le rappel de la corde vocale vers la ligne médiane est beaucoup plus faible qu'en voix de poitrine; il est même si faible qu'en phase de rapprochement, l'occlusion complète de la glotte ne se réalise plus. Cela prouve qu'en voix de fausset, ou bien le thyro-aryténoïdien interne n'est plus qu'en état de contraction tonique de repos, ou bien une partie de ses fibres seulement sont en état de contraction volontaire.

D'ailleurs, pour passer du son de fausset au son de poitrine de même hauteur, il faut faire un effort de

volition marqué, qui s'accompagne, au niveau de la glotte, d'une sensation caractéristique de constriction.

La contraction volontaire des thyro-aryténoïdiens internes faisant défaut, elle ne peut plus croître en synergie avec l'effort des muscles expirateurs; si alors la pression sous-glottique croît, la béance de la glotte croît, et on ne peut filer un son. C'est en effet ce que l'on observe en fausset (§ 14).

TROISIÈME CLASSE

OBSERVATIONS RELATIVES A LA COUVERTURE DU SON AU PASSAGE DU MI³ (HOMMES)

20. J'ai expérimenté souvent, et longtemps, sur de nombreux sujets, en vue de connaître les conditions d'exécution du passage du *mi*³ (hommes), si important dans le chant. La Troisième partie de ce travail, en entier, lui est consacrée. J'indiquerai ici simplement ce que révèle, à ce sujet, l'observation laryngo-stroboscopique.

Des observations de contrôle ont été faites sur moi-même, par le D^r GARDE, à l'hôpital Boucicaud, le 4 janvier 1950. Je les résume ci-dessous.

Observations 22, 23 et 24. — Sur *ré*³, *mi* bémol³, *mi*³.

Sous vision laryngo-stroboscopique, le sujet émet un *è* ouvert changé en *é* fermé; puis un *é* fermé changé en *è* ouvert, cela

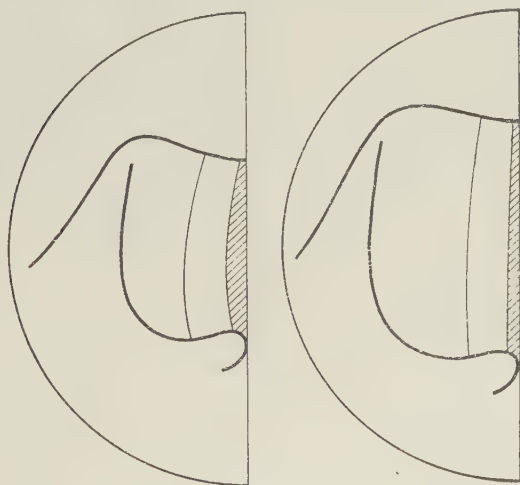


Fig. 21. — PHASE D'OUVERTURE MAXIMUM EN PÉRIODE VIBRATOIRE SUR *mi* bémol³: EN VOIX DE POITRINE OUVERTE (à gauche) ET EN VOIX DE POITRINE COUVERTE (à droite).

sur la même note d'émission. Chaque observation recommencée 5 ou 6 fois afin de permettre une bonne vision des faits observables.

Le son laryngien émis était un son de poitrine intense, fortement appuyé, pourvu de renforcements pharyngiens et buccaux presque normaux, aussi phonétiquement voisin que possible du son chanté correspondant en voix pleine de registre palatal, compte tenu, bien entendu, des exigences de l'observation laryngoscopique (protraction de la langue hors de la bouche).

Résultats résumés ci-après (fig. 21).

Premières conclusions relatives à la couverture du son.

21. En passant du son ouvert au son couvert de même hauteur, on note ce qui suit de façon constante:

- 1) Le sujet ressent une sensation nette de détente, au niveau du larynx;
- 2) L'épiglotte se relève, améliorant la visibilité de la partie antérieure de la glotte;
- 3) Le thyroïde bascule en avant, sous l'effet de la contraction active, brusquement apparue, du crico-thyroïdien;
- 4) Les apophyses vocales des aryténoïdes baissent légèrement de niveau;
- 5) L'amplitude de la vibration des cordes vocales subit une réduction légère, mais nette;
- 6) Les cordes vocales paraissent recevoir un supplément de rigidité;
- 7) Le modelé des cordes vocales, pendant leur vibration, arrondi et boudiné sur le son ouvert, devient plus aminci et plus rubané sur le son couvert;
- 8) Aucune composante verticale du bord libre n'apparaît; lorsqu'elle existe, très-faible, sur l'émission du son ouvert (par exemple, par suite d'une hypotonie légère du thyro-aryténoïdien interne), elle disparaît après la couverture du son;
- 9) En phase de fermeture, la glotte se ferme toujours sur toute sa longueur, mais la phase d'accolement paraît être devenue un peu plus courte.

Ces faits établissent qu'au moment de la couverture du son, il y a détente ou décontraction plus ou moins marquée des thyro-aryténoïdiens externe et interne, ce qui explique les faits nos 1, 2, et 9. Mais il y a en même temps apparition conjuguée de la contraction active du crico-thyroïdien, ce qui explique les faits nos 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

Je reviendrai longuement, à un autre point de vue, sur ces faits dans la Troisième partie de ce travail, et montrerai notamment que l'intervention de la contraction active du crico-thyroïdien, sous stimulation volontaire ou réflexe, constitue l'essentiel du phénomène.

Autres observations directes (non laryngoscopiques).

22. Certains professeurs de chant, et même certains laryngologistes, ont prétendu que la voix « ne devait pas présenter de passage » en montant une gamme sur une voyelle ouverte.

Il n'y a que deux façons de réaliser le phénomène:

Ou bien, par une action volontaire puissante et soutenue, continuer à ouvrir les sons au-dessus du passage jusqu'à la limite supérieure de la voix, en inhibant par la volonté l'exécution réflexe de la couverture du son qui tend à se produire.

Ou bien, par différents procédés, tenter de produire l'intervention graduelle de la contraction active du crico-thyroïdien en montant la gamme.

Le premier procédé peut être employé à titre d'expérience tératologique. J'ai vu faire cette expérience, une fois, par un baryton, jusqu'à l'*ut dièze*⁴ (SÉVEILHAC). Elle n'est pas sans danger pour le larynx, et il est d'observation courante qu'ouvrir des sons au-dessus de la limite normale favorise la formation de nodules.

Le second procédé offre une solution théorique parfaite de la question, et c'est celle que certains professeurs de chant pensent avoir trouvé en « préparant » l'exécution de la couverture du son, sur une gamme ascendante, par un assombrissement progressif du son commençant deux ou trois tons avant la hauteur normale du passage.

Par cette pratique, bien connue et utilisée depuis longtemps, il est certain que le changement de timbre de la couverture du son est fortement atténué, et même que, chez les voix légères (barytons et ténors légers), le changement de timbre finit par être pratiquement « fondu » au sein d'un assombrissement progressif du timbre de la voyelle réparti sur plusieurs notes avant et après le passage.

Mais des observations fort nombreuses, faites sur des musculatures très-assouplies d'artistes lyriques de carrière, m'ont montré qu'en fait le passage n'était *jamais supprimé*, mais simplement rendu *acoustiquement inapparent* par ce procédé.

Observation 25. — S., 60 ans, baryton d'opéra, professeur au Conservatoire de Paris (1933), déclare que sa voix ne présente pas de passage. Je le prie de monter une gamme sur la voyelle A du *la bémol*¹ au *la bémol*³, ce qu'il exécute aussitôt autant de fois que je lui demande. Il commence à sombrer, à arrondir la voyelle dès l'*ut*², accentue le changement de couleur sur *ut dièze*², *ré*², *mi bémol*³. Lorsqu'il parvient au *mi*³, la voyelle émise est devenue le son couvert correct, acoustiquement voisin de la voyelle o fermée.

Cependant, mon oreille a perçu nettement que la couverture du son s'était effectuée en passant du *mi bémol*³, encore ouvert quoique fortement sombré, au *mi*².

Je place le pouce et l'index de part et d'autre de son cartilage thyroïde, vers son bord inférieur, et le prie de recommencer : je perçois, lorsqu'il passe du *mi bémol*³ au *mi*², la bascule caractéristique du thyroïde en avant. Le passage n'a donc pas été supprimé, mais rendu acoustiquement peu apparent. Je discute de ce fait avec S. qui, de bonne grâce, reconnaît que c'est en passant du *mi bémol*³ au *mi*² qu'il ressent les sensations internes si caractéristiques de la couverture du son.

Observation 26. — R., 52 ans, ténor léger, chante les premiers emplois sur nos plus grandes scènes lyriques (1934). Musculature laryngée extrêmement assouplie. Monte devant moi une gamme sur la voyelle a de l'*ut*² à l'*ut*⁴, et recommence autant de fois que je le lui demande. Le timbre de la voyelle évolue graduellement d'un son ouvert vers un son fermé plus sombre. A première audition, l'oreille, surprise, ne perçoit aucun passage. Il faut accentuer l'attention auditive pour percevoir un petit changement de sonorité un peu plus accusé et caractéristique lorsque le son passe du *fa*² au *fa dièze*³.

Par la palpation, on sent que c'est en arrivant sur le *fa dièze*² que se produit la bascule en avant du thyroïde.

Il faut ajouter que R. perçoit très-bien le moment où il couvre le son, et déclare faire son passage sur le *fa dièze*².

23. J'ajoute qu'en dix-sept années d'observations, je n'ai jamais rencontré un seul sujet réalisant la contraction active *graduelle* du crico-thyroïdien, c'est-à-dire la disparition théorique des phénomènes à *apparition brusque* de la couverture du son.

Ces faits me paraissent devoir être reliés à la loi du « tout ou rien » de la physiologie musculaire élémentaire. Mais ils peuvent aussi être reliés à la nature *réflexe* des phénomènes de la couverture du son et à leur genèse proprioceptive laryngée (voir III^e Partie).

QUATRIÈME CLASSE

OBSERVATIONS RELATIVES A L'ÉMISSION D'UN SON QUAND ON CHANGE DE VOYELLE OU DE COULEUR DE SON A HAUTEUR ET PRESSION SOUS-GLOTTIQUE CONSTANTES

24. La première classe d'observations qui précède est relative à des observations laryngo-stroboscopiques de sons émis à hauteur constante, la pression sous-glottique variant seule (le timbre étant gardé aussi invariable que possible, ce qui ne peut jamais être réalisé en toute rigueur). La deuxième classe d'observations étudie des sons émis à hauteur variable, la pression sous-glottique étant maintenue à un niveau aussi constant que possible (ce qui ne peut jamais être réalisé de façon absolue et sûre, de même que la constance du timbre, du grave à l'aigu).

Il restait à observer le comportement vibratoire des cordes vocales quand le timbre varie seul, la hauteur et la pression sous-glottique restant constantes. La troisième classe d'observations étudie de tels phénomènes en un point particulièrement important de la tessiture : le passage du *mi*³. Il était intéressant de tenter des observations analogues en d'autres points, moins remarquables, de l'échelle vocale. C'est ce qui a été fait, et on trouvera ci-dessous la description et les résultats de ces observations.

25. J'avais, sur ce point, quelques observations, datant de 1933 à 1935, mais qui devaient être confirmées pour la raison suivante : l'observation laryngoscopique du larynx n'est facile que sur la voyelle *é* fermée, qui élève un peu le larynx et redresse l'épiglotte. Sur *è* ouvert, elle est déjà moins facile, car l'épiglotte tend à s'abaisser. Sur toute autre voyelle, elle est encore plus difficile et même parfois impossible, soit parce que la lèvre recule, soit parce que l'ouverture labiale tend à se refermer plus ou moins. J'ai donc voulu

que ces observations, en raison de leur importance, fussent refaites et contrôlées par un opérateur plus entraîné que moi-même au maniement du laryngoscope, et possédant de très-bons yeux (ce n'est pas mon cas). Le Dr GARDE répondait à ces desiderata, et a accepté de refaire ces observations sur moi-même, à l'hôpital Boucicaut, le 11 mars 1950. Comme il pratique le chant lui-même (avec une fort belle voix de ténor), il était, de plus, à même d'apprécier les changements de timbre que je réalisais, à hauteur constante, sous vision laryngo-stroboscopique.

J'ai systématiquement réalisé, en voix de poitrine, deux sortes de variation de timbre :

- 1) Le changement d'une voyelle ouverte en une autre voyelle ouverte.
- 2) Le changement d'une voyelle ouverte en une voyelle fermée.

Voici les résultats observés.

Observation 27. — Sur sol² (196 v. d.).

Son émis : un *è* ouvert de forte intensité, progressivement arrondi de façon à le changer en la voyelle *eu* ouverte de même intensité.

On observe que l'amplitude de la vibration, d'abord invariable, augmente légèrement, mais de façon assez brusque, lorsque la

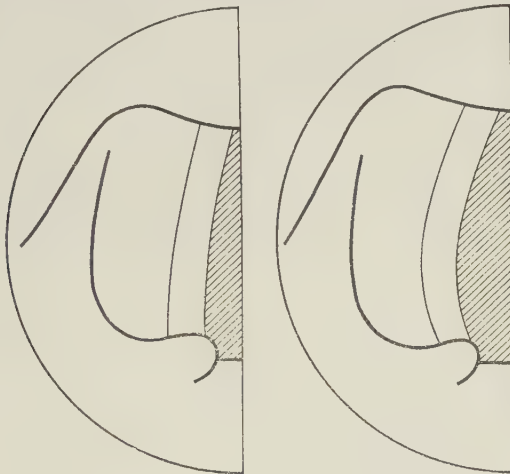


Fig. 22. — MODIFICATION DE LA PHASE D'OUVERTURE MAXIMUM QUAND ON PASSE D'UN *è* OUVERT (à gauche) A UN *eu* OUVERT (à droite), SUR UN *la²* EN VOIX DE POITRINE.

voyelle *eu* ouverte est atteinte et que sa résonance buccale caractéristique apparaît.

La rigidité des cordes et du larynx diminue un peu au même moment.

Observation 28. — Sur la² (217 v. d.).

Son émis : un *è* très-ouvert, de forte intensité, progressivement arrondi de façon à le changer en la voyelle *eu*, ouverte, de même intensité.

Très-légère augmentation de l'amplitude en passant sur le son *eu* ouvert au moment où la résonance buccale se précise en *eu* (fig. 22). Rigidité des cordes et du larynx diminuée un peu en passant sur *eu*. Effort d'émission un peu plus sensible sur *è* que sur *eu*.

Observation 29. — Sur ul² (261 v. d.).

Son émis : comme précédemment. Augmentation d'amplitude à peine sensible. La rigidité des cordes et de tout le larynx paraît encore diminuer faiblement. L'effort d'émission est un peu moindre sur *eu* que sur *è*.

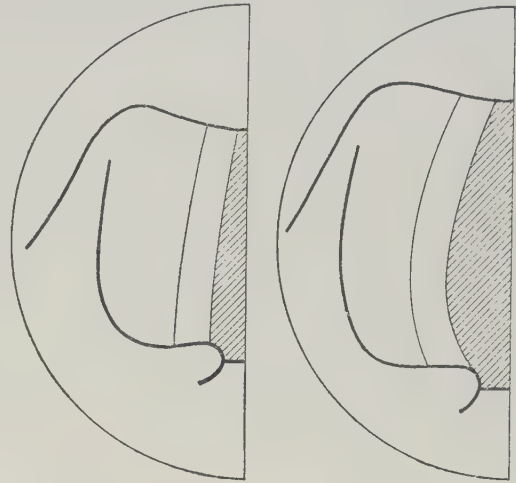


Fig. 23. — MODIFICATION DE LA PHASE D'OUVERTURE MAXIMUM QUAND ON PASSE D'UN *è* OUVERT (à gauche) A UN *eu* FERMÉ (à droite), SUR UN *la²* EN VOIX DE POITRINE.

Comparer avec la figure 22, où le changement se fait de *è* ouvert à un *eu* ouvert.

Observation 30. — Sur ré² (294 v. d.).

Son émis : comme plus haut. On ne voit plus de différence, ni dans l'amplitude, ni dans la rigidité.

Observation 31. — Sur la² (217 v. d.).

Son émis : un *è* ouvert, de forte intensité, progressivement changé en *a* de même intensité. Aucune différence n'est observée.

Observation 32. — Sur la² (217 v. d.).

Son émis : un *è* ouvert, de forte intensité, changé progressivement en un *o* ouvert de même intensité.

Quand on arrive à l'*o* ouvert, le recul de la langue ne permet plus la vision du larynx. Si on force pour tirer la langue, la voyelle *o* ouverte ne peut plus être émise.

Observation 33. — Sur la² (217 v. d.).

Son émis : un *è* ouvert, intense, progressivement arrondi et aboutissant à un *eu* fermé de même intensité.

Augmentation considérable de l'amplitude (fig. 23). Chute considérable de la rigidité des cordes et de tout le larynx.

Observation 34. — Sur ré² (294 v. d.).

Son émis : comme l'observation 33.

Augmentation nette de l'amplitude, quoique un peu plus faible que sur le *la²*. Chute de la rigidité des cordes et du larynx, mais également un peu plus faible que sur le *la²*.

Premières conclusions relatives à l'émission de sons de timbres différents à hauteur et pression sous-glottique constantes.

26. Lorsqu'on modifie le timbre du son émis à hauteur et intensité constantes, on peut observer au laryngo-stroboscope deux sortes de modifications : l'une porte sur l'amplitude de la vibration, ou phase

d'élongation maximum; l'autre, sur la rigidité générale des cordes et du larynx. Enfin le sujet qui chante peut éprouver une modification de son effort d'émission.

Ces modifications sont sous la dépendance des phénomènes de résonnance qui ont leur siège dans le pharynx et dans la bouche. Ce sont, au premier chef, des phénomènes *réactionnels*, c'est-à-dire qui résultent de la réaction exercée par les résonnances pharyngo-buccales sur la vibration des cordes vocales.

D'une façon précise, lorsque l'on change de timbre, le pharynx et la bouche changent de forme et de volume et s'accordent (plus ou moins) sur des harmoniques de *numéros d'ordre différents* de la fourniture laryngée. Ce changement affecte en général la cavité buccale seule : c'est le cas lorsqu'on passe d'une voyelle ouverte à une autre voyelle ouverte (*obs.* 27 à 32); ou encore d'une voyelle fermée à une autre voyelle fermée. Il peut affecter, à la fois, la cavité buccale et la cavité pharyngée : c'est le cas lorsqu'on passe d'une voyelle ouverte à une voyelle fermée, ou inversement (*obs.* 33 et 34).

Cela rappelé, voici la loi qui régit les phénomènes observés.

Loi réglant la réaction des résonnances bucco-pharyngées sur la vibration des cordes vocales dans l'émission de sons de hauteur et d'intensité constantes.

27. *A hauteur et intensité maintenues constantes, lorsque la cavité buccale, ou la cavité pharyngée, modifie sa forme ou son volume de façon à se rapprocher de l'accord sur un nouvel harmonique du son laryngien de numéro d'ordre inférieur à celui précédemment renforcé (donc plus grave que le précédent), on constate :*

- 1) *que l'amplitude de la vibration des cordes vocales augmente;*
- 2) *que la rigidité générale du larynx et des cordes vocales diminue;*
- 3) *que le sujet ressent une sorte de facilitation de son émission.*

Ces phénomènes sont d'autant plus intenses que le changement d'harmonique renforcé affecte un harmonique plus grave, et que l'abaissement du numéro d'ordre est plus important.

Cette loi explique sans difficulté les *observations* 27 à 34.

Les *observations* 30 et 34 montrent toutefois que les modifications observables au niveau du larynx s'atténuent lorsqu'on se rapproche du passage du *mi*³, pour la raison bien évidente que c'est à ce niveau que toute la musculature du sphincter glottique, extrinsèque et intrinsèque, manifeste sa contraction maximum, donc résiste mieux aux effets de la réaction du résonnateur pharyngo-buccal.

28. J'ajouterai deux remarques :

1) J'ai pensé, en 1935, sur le vu d'observations insuffisantes, que le pharynx réagissait seul sur la vibration des cordes vocales, et que la cavité buccale ne pouvait le faire.

C'était inexact. Si la réaction de la cavité pharyngée est toujours la plus importante, puisqu'elle renforce les harmoniques d'ordre 1, 2, 3 ou 4, la réaction de la cavité buccale n'est pas niable : les *observations* 27 à 29 la mettent en évidence.

2) Au passage du *mi*³, si la modification de l'amplitude vibratoire semble s'effectuer en sens contraire (*obs.* 22 à 24), c'est que la statique laryngée se modifie par l'entrée en action du crico-thyroïdien qui, en faisant basculer le thyroïde en avant et en bas, tire sur les insertions antérieures des cordes vocales, diminuant ainsi l'amplitude de leur vibration. Mais on note bien, comme la loi l'indique, une détente dans la musculature sphinctérienne et une sensation de facilitation dans l'effort d'émission.

A vrai dire, je montrerai qu'au niveau du passage du *mi*³, la réaction est *maximum*. Elle est tellement forte qu'elle ferait cesser l'émission du son si un mécanisme nouveau n'intervenait pas pour renforcer le rappel des cordes dans leur travail vibratoire.

CINQUIÈME CLASSE

OBSERVATIONS

RELATIVES A CERTAINS POINTS PARTICULIERS DU COMPORTEMENT DES CORDES VOCALES PENDANT LEUR VIBRATION NORMALE

La vibration s'effectue dans le plan horizontal.

29. La vibration normale d'une corde vocale s'effectue dans le plan horizontal. Elle se différencie, en cela, de la vibration d'une anche, soit libre, soit battante. La vibration de l'anche libre ou battante possède, en effet, une composante verticale très-importante, beaucoup plus grande que sa composante horizontale. Ce fait fondamental suffit, à lui seul, pour prouver que les cordes vocales ne vibrent, en aucune façon, comme des anches libres ou battantes.

Cependant, certains auteurs ont signalé que les cordes vocales avaient toutefois, pendant leur vibration, une composante verticale très-petite, de l'ordre de la fraction du millimètre. La corde vocale, au moment où elle s'écarte de la ligne médiane dans sa phase vibratoire d'ouverture, se soulèverait très-légèrement. MUSEHOLD a cru pouvoir affirmer ce fait en examinant les photographies, faites par lui, de cordes vocales en vibration. Il estimait que la ligne médiane s'enfonçait légèrement, au début de la phase d'ouverture de la glotte, alors que les cordes vocales

n'avaient pas encore quitté leur contact, et concluait, de ce fait, que les deux cordes vocales s'étaient légèrement soulevées, un peu avant de s'écarter l'une de l'autre, dans leur phase vibratoire d'ouverture.

Je n'ai jamais observé ce phénomène, ni en voix de poitrine, ni en voix de fausset, en dix-sept années d'observations.

on tente de filer le son, c'est-à-dire si on élève la pression sous-glottique. Il diminue dans l'aigu et disparaît dans le suraigu.

Mais il ne s'agit nullement d'une vibration du bord libre de la corde qui, en fausset, se mettrait à vibrer comme une anche libre. Ce bord libre, en effet, ne s'abaisse jamais sous le plan horizontal de la glotte.

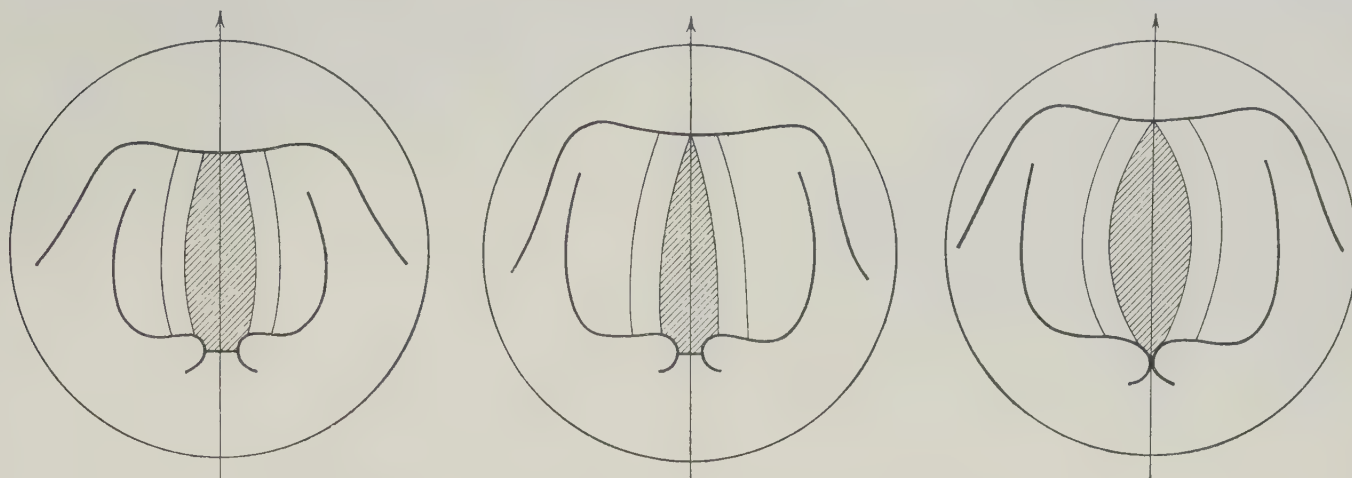


Fig. 24. — FORME DE LA GLOTTE EN PHASE D'OUVERTURE MAXIMUM SUR ul^3 .

A gauche : voix de poitrine ouverte ; au milieu : voix de poitrine couverte ; à droite : voix de fausset.

Le bord des cordes vocales vibre-t-il seul, en fausset ?

30. On trouve dans de nombreux traités l'affirmation qu'en fausset, le bord libre de la corde vocale vibre seul.

Une telle affirmation est erronée. Dans la phase d'écartement de la corde, c'est toute sa masse qui participe au mouvement, et non-seulement son bord libre. Quand on passe d'un son de poitrine au son de fausset de même hauteur, sous vision laryngostroboscopique, on voit l'amplitude de la vibration croître même brusquement, ce qui prouve que la masse de la corde, moins contractée, — ou même en état de simple *tonus* —, n'offre pas, en fausset, une force de rappel aussi vigoureuse qu'en voix de poitrine.

Une « composante verticale » de la vibration en fausset existe-t-elle ?

31. En voix de fausset, on voit le bord libre de la corde vocale se soulever légèrement, dès que la corde s'écarter de la ligne médiane, se redresser davantage à mesure que l'ouverture glottique augmente, puis retomber progressivement lorsqu'elle se rapproche de la ligne médiane. Comme les cordes ne reviennent jamais en contact, en fausset (sauf dans l'aigu extrême), on aperçoit même souvent que le bord libre reste un peu soulevé, même en phase de rapprochement maximum des cordes.

Ce mouvement de soulèvement est très-sensible dans le grave et le médium, et augmente énormément si

Il se redresse et s'écarter simplement par l'effet de l'écoulement d'air, sous pression, à travers la fente glottique, et demeure toujours plus ou moins redressé (sauf dans le suraigu).

Il est donc *impropre* de dire qu'en fausset le bord libre vibre séparément ou même présente une « composante vibratoire verticale » : il ne fait qu'être redressé, plus ou moins fortement, par le courant d'air qui s'échappe de la glotte.

Sur la phase d'écartement des cordes pendant la vibration.

32. En poitrine comme en fausset, les cordes s'écarter l'une de l'autre sur toute leur longueur (sauf au voisinage des limites supérieures de ces deux registres). L'écartement se fait normalement, de façon symétrique, à droite et à gauche.

Dans le grave, en voix de poitrine ouverte, les apophyses vocales des aryténoïdes vibrent également et s'écarter de la ligne médiane avec le reste de la corde, de sorte que le maximum d'amplitude est atteint par un point de la corde situé plus près de la région aryténoïdienne que de son insertion antérieure. La vibration des apophyses vocales diminue légèrement d'amplitude en montant la gamme et s'éteint un peu avant le passage du mi^3 , pour reparaitre encore, faiblement, après (en voix ouverte).

En voix de fausset, les apophyses vocales ne participent plus à la vibration, ou sinon très-faiblement, de sorte que le maximum d'amplitude est atteint par le milieu de la corde interligamenteuse.

En voix de poitrine couverte, la vibration des apophyses reparait, mais la corde est plus tendue, de sorte que son maximum d'amplitude est atteint au niveau des apophyses vocales elles-mêmes, ou sinon très-près (fig. 24).

Sur la phase de rapprochement des cordes pendant la vibration.

33. Lorsque les cordes vocales se sont écartées symétriquement de la ligne médiane de la glotte, pendant la première phase d'une période vibratoire, une deuxième phase est constituée par leur rapprochement, jusqu'à la venue de nouveau en contact. Cette phase de rapprochement s'effectue, chez une voix saine, par un comportement entièrement symétrique des cordes vocales, droite et gauche.

Un certain nombre d'auteurs ont décrit cette phase de fermeture, comme n'étant pas entièrement symétrique de la phase précédente d'ouverture. D'après MUSEHOLD et NAGEL, la phase d'ouverture et la phase de fermeture de la glotte, pendant une période vibratoire, se différencieraient par le fait que la corde vocale se soulève très-légèrement, en s'écartant de la ligne médiane, et retombe à un niveau légèrement plus bas, en revenant en contact de sa congénère, pendant la phase de fermeture. Autrement dit, un point du bord libre d'une corde vocale, pendant l'exécution de ces deux phases vibratoires successives, décrirait un petit contour de forme elliptique, dont la partie supérieure serait tracée pendant la phase d'ouverture, et la partie inférieure, pendant la phase de fermeture. Les deux phases seraient donc dyssymétriques et reproduiraient le battement de la mayonnaise.

Desider WEISS s'est le premier élevé contre cette systématisation ; comme lui, je ne l'ai jamais observée, ni en voix de poitrine, ni en fausset. En voix de poitrine, les comportements d'une corde vocale, pendant ces deux phases successives d'écartement et de rapprochement de la ligne glottique médiane, sont entièrement symétriques ou, mieux, exactement inverses. En voix de fausset, une légère dyssymétrie est causée par le comportement spécial du bord libre, comme je l'ai dit plus haut.

La phase d'écartement est-elle de même durée que celle de retour à l'accolement ?

34. Au cours d'observations, faites en 1935 et 1936, j'avais cru noter, dans la partie grave de la voix de poitrine, une phase d'écartement *parfois* un peu plus courte que la phase de rapprochement, et *jamais le contraire*. La plupart du temps, les deux phases paraissent de durée égale.

En vue de tenter d'élucider ce fait, le D^r GARDE a refait, sur moi-même, des observations minutieuses et systématiques, le 18 mars 1950, à l'hôpital Boucicaud, aidé du D^r BLANCHET.

Observation 35. — Sur *ré*², *sol*², *la*², *ut*², en voix de poitrine et en fausset, en voix *piano* et en voix appuyée.

Résultats négatifs : aucune différence de durée n'est observée entre la phase d'écartement et celle de rapprochement.

Sur la phase d'accolement et sur sa durée.

35. MUSEHOLD, le premier, a cru pouvoir déduire, de ses premières observations stroboscopiques et de ses documents photographiques, que les deux cordes vocales, non-seulement venaient en contact, en voix de poitrine, le long de la ligne glottique médiane, mais s'y pressaient assez fortement l'une contre l'autre. Il se servit de l'expression : « *sich Todt schlagen* », c'est-à-dire « se frapper à mort », pour décrire leur mise en contact à chaque période vibratoire. De plus, il a décrit la phase d'accolement des cordes vocales durant une certaine partie de chaque période vibratoire.

MUSEHOLD a conclu à l'existence d'une phase d'accolement prolongée des cordes vocales, par le fait qu'en prenant des photographies instantanées de la glotte, il la trouvait plus souvent fermée qu'ouverte pendant la vibration. Il concluait, de ce fait statistique, que la phase d'accolement des cordes vocales représentait une notable partie de chaque période vibratoire, dont la proportion variait d'ailleurs suivant les registres.

Quant à son affirmation, que les cordes vocales s'accolent fortement à chaque période, elle provenait du relief supérieur bombé qu'elles prennent lorsqu'elles viennent en contact, et aussi de la façon dont ce relief se modifie au moment où s'amorce la phase d'ouverture des deux cordes vocales.

L'existence d'une telle phase d'accolement strict, en voix de poitrine, a cependant été mise en doute par D. WEISS, en 1932, qui estimait les cordes vocales insuffisamment résistantes pour supporter de tels chocs et si fréquemment répétés.

Je ferai observer que l'accolement des cordes vocales, pendant chaque période, est, au contraire, en accord avec la structure anatomique de ces organes. On sait, en effet, que, chez tous les animaux dont les cordes vocales servent à la phonation, la muqueuse de celles-ci se modifie fortement, devient résistante, se transforme en un tissu conjonctif élastique, notamment sur et sous le bord libre des cordes vocales, et l'on ne voit pas bien sous quelles influences se seraient produites ces modifications morphologiques importantes, si ce n'était sous l'effet de micro-traumatismes des deux cordes vocales, l'une contre l'autre, pendant leur vibration.

J'ai observé, longuement et minutieusement, de nombreux sujets, afin de voir si un accollement des cordes vocales, en voix de poitrine, avait réellement bien lieu, et, d'autre part, si cet accollement durait aussi longtemps, à chaque période, que l'avait indiqué MUSEHOLD. Chez de nombreux sujets et, d'une façon générale, chez tous les sujets, hommes ou femmes, possédant des larynx bien musclés et des voix bien conditionnées, un contact hermétique des deux cordes vocales existe indéniablement. Pendant la durée de ce contact, le relief des deux cordes vocales se modifie légèrement comme le fait le relief de deux bourrelets que l'on presse l'un contre l'autre. Cela s'observe, avec le maximum de facilité, sur les notes de voix de poitrine ouverte, un peu avant le passage du *mi*³.

Toutefois, sur certains larynx déficients, faiblement constitués, ou atteints d'hypotonies marquées, j'ai observé que les cordes n'arrivaient pas tout à fait en contact et qu'une fente extrêmement étroite existait toujours entre les deux cordes vocales, lorsque celles-ci semblaient venir en contact. La voix du sujet avait alors un timbre particulier, caractérisé par une absence de « mordant », c'est-à-dire une insuffisance des harmoniques aigus à partir du sixième, et se rapprochant du timbre de fausset.

Quant à la durée de cette phase d'accolement, elle paraît croître, non avec la hauteur du son émis, mais plutôt avec son intensité. Sur un son filé, en voix de poitrine, elle est nettement *plus grande sur le forte que sur le piano*. En voix de poitrine couverte, elle est un peu plus courte qu'en voix de poitrine ouverte (à égalité de hauteur et d'intensité).

Je conclus donc qu'elle est en raison directe, *grosso modo*, du degré de contraction du thyro-aryténoïdien interne dont dépend, de toute évidence, le rappel de la corde vocale à sa position d'accolement.

Ce qui vient d'être dit se rapporte à la voix de poitrine. En fausset, les cordes vocales ne reviennent plus complètement en contact, et laissent entre elles une fente plus ou moins étroite. Lorsqu'on élève la pression sous-glottique, cette fente résiduelle s'élargit énormément.

Toutefois, dans le fausset suraigu (octave⁴), l'accolement hermétique des cordes réapparaît, tandis que leur bord libre cesse de se soulever et que, d'autre part, le timbre flûté du fausset ordinaire reprend une certaine stridence.

Sur la profondeur de l'accolement.

36. Comment les cordes vocales viennent-elles en contact? On sait que, dans l'image d'un larynx fonctionnant à la façon d'une anche battante ou libre, les cordes vocales sont sensées ne venir en contact que

par leur bord libre, à la façon de deux languettes de caoutchouc horizontales, disposées dans le même plan et l'une contre l'autre. Cette image est quelquefois admise, en raison de dessins schématiques représentant les cordes vocales, en section transversale, comme deux prismes triangulaires dont on accole les arêtes opposées.

Cela est une vue de l'esprit entièrement inexacte; car, dans la réalité, les cordes vocales forment deux



Fig. 25. — AFFRONTMENT DES CORDES VOCALES PENDANT LEUR PHASE D'OCCLUSION : EN VOIX DE POITRINE (à gauche), ET EN VOIX DE FAUSSET (à droite).

En hachures : La partie épaissie du *conus elasticus*, qui tapisse les deux surfaces venant en contact en voix de poitrine.

bourrelets musculaires qui s'écartent assez notablement d'une forme prismatique régulière, pour recevoir, par leur section, une forme beaucoup plus arrondie.

Les cordes vocales viennent en contact, en voix de poitrine, comme deux bourrelets qui s'accolent, c'est-à-dire sur toute une surface verticale, qui s'étend sur 2 à 10 mm de profondeur. L'observation des cordes vocales en « position inclinée d'AVELLIS », permet de voir, sur certains sujets possédant de grands larynx et pendant l'émission de notes graves de la voix de poitrine, les cordes vocales par leur tranche, au moment de leur rapprochement. Celles-ci s'accolent, non-seulement sur leur bord libre, mais également sur une portion de leur partie sous-glottique qui est immédiatement au-dessous de leur bord libre et qui parfois fait saillie, comme je l'ai vu sur un larynx fortement musclé. D'ailleurs, on observe quelquefois des nodules situés sur la partie sous-glottique des cordes vocales, à quelques millimètres au-dessous de leur bord libre. L'existence de nodules cornés en cet endroit indique bien que celles-ci viennent en contact, non uniquement sur leur bord libre, mais sur une partie de leur surface sous-glottique.

Enfin les tomographies de larynx en phonation le prouvent péremptoirement, ne permettant plus aucun doute à ce sujet. [Voir : « La méthode des Coupes radiographiques (Tomographie ou Planigraphie) appliquée à l'Étude de la phonation », par CANUYT, GUNSETT & GREINER, *Revue française de Phoniatrie*, 1938, pp. 133-152.]

En voix de fausset, presque tous les auteurs antérieurs ont admis que le bord libre des cordes vocales vibrait seul, et ont conclu de cette hypothèse que, pendant leur vibration, les cordes vocales s'affrontaient par leur bord libre seulement. J'ai montré, plus haut, qu'il n'en était rien et que si, en fausset, on voit le bord libre se redresser, c'est quand même la masse de la corde qui vibre, c'est-à-dire s'écarte et revient vers la ligne médiane. Il s'ensuit que, si les cordes ne reviennent pas en contact, c'est tout de même les bourrelets constitués par chaque corde qui reviennent s'affronter, sans se toucher, à chaque période vibratoire. Autrement dit, en fausset comme en voix de poitrine, ce sont des bourrelets qui vibrent, avec cette seule différence secondaire, qu'en fausset ils ne reviennent plus en contact hermétique comme en voix de poitrine (fig. 25).

Les tomographies prises en voix de fausset confirment ces faits et ne révèlent pas de différence sensible sur ce point avec la voix de poitrine. [Voir notamment Georges François GREINER : « La tomographie du larynx », *Thèse de la Faculté de médecine de Strasbourg*, 1938 (1).]

Les amplitudes vibratoires successives d'une même période sont-elles égales? — Lien avec le vibrato.

37. J'avais souvent observé, en 1933-1937, des inégalités d'allure régulière dans les amplitudes successives de la vibration des cordes vocales sur un son tenu de hauteur et d'intensité constantes. Bien que de tels phénomènes soient à la limite de ce qu'il est raisonnablement possible d'apprécier avec le stroborama, j'ai demandé aux docteurs GARDE et BLANCHET de tenter de le vérifier, sur moi-même, le 18 mars 1950.

Observation 36. — Sur *la*² et *ré*³ en voix de poitrine ouverte, et *fa*² en voix de poitrine couverte.

Pendant les durées d'émission où le son est tenu à hauteur et intensité constantes, et où l'on voit les cordes vibrer régulièrement, on perçoit nettement que les vibrations vues au stroboscope se succèdent ainsi : une ample, une moins ample, une ample, une moins ample, etc.

Les différences d'amplitude sont de l'ordre du demi-millimètre pour chaque corde, mais l'œil les perçoit nettement.

Quelle que soit la hauteur du son émis, le rythme aperçu est toujours le même : une amplitude sur deux successives est plus grande que l'autre.

Quand le son émis par le sujet, ou celui du stroborama, modifie un peu sa fréquence, les battements vus au stroboscope perdent toute régularité, et on ne peut plus rien en conclure.

Ces faits prouvent qu'au cours d'une même période

d'un son chanté, l'amplitude de la vibration des cordes subit une modification périodique régulière.

Le lien de ce phénomène avec le *vibrato* est certain. On sait que le *vibrato* de la voix est une variation périodique de l'intensité du son émis, variation de l'ordre de 4 à 8 par seconde. Elle s'accompagne aussi, parfois, d'une variation de la fréquence, mais ce second phénomène, qui est le trémolo ou le chevrottement, a un caractère subsidiaire, d'ailleurs pathologique, tandis que le *vibrato* est d'observation normale chez toutes les puissantes voix de théâtre.

L'observation attentive montre sans difficulté que le rythme observé dans les amplitudes : une forte, une faible, une forte, une faible, etc., coïncide avec celui du *vibrato*, les maximums d'intensité coïncidant avec un temps faible de l'amplitude.

J'ajouterai que, chez moi, le *vibrato* n'apparaît en voix de poitrine dans le grave que vers le *si bémol*¹ avec 5 battements par seconde ; il passe à 6 ou 7 battements par sec. vers le *la bémol*² et jusqu'au *mi*³ en voix ouverte ; puis retombe à 5 ou 6 battements par sec. en voix couverte après exécution du passage. Je reviendrai dans la Troisième partie sur la genèse de ce phénomène.

Sur la « ligne nodale » d'Oertel.

38. En observant des larynx artificiels constitués à l'aide de languettes de caoutchouc tendues sur l'extrémité d'un tuyau circulaire et dans le même plan, OERTEL avait observé stroboscopiquement que certains modes vibratoires complexes des languettes de caoutchouc faisaient apparaître des lignes nodales à peu près parallèles au bord libre de ces languettes. L'auto-suggestion aidant, il avait cru revoir de telles lignes nodales sur des larynx humains, notamment en voix de fausset, et quelques observateurs pensèrent également les avoir retrouvé.

MUSEHOLD avait déjà, en 1912, fait justice d'une telle affirmation, et je puis confirmer que l'observation stroboscopique de la vibration des cordes vocales ne montre jamais, en aucune circonstance, l'apparition de telles lignes nodales à la surface des cordes vocales, ni en voix de poitrine, ni en voix de fausset.

Sur la « vague » de Réthi.

39. RÉTHI a décrit un phénomène vibratoire qui apparaîtrait dans la vibration des cordes vocales en voix de fausset. Il écrit en substance : « On voit le bord libre de la corde vocale se relever pendant la première phase vibratoire, puis l'extrême bord libre se retire vers le bas pendant que la corde continue son mouvement d'élévation et d'écartement. Il en résulte une sorte d'arête qui semble se propager vers

(1) Cette thèse a été aimablement mise à notre disposition par le Dr MARTIN, O.-R.-L. à Villeneuve-Saint-Georges, praticien réputé doublé d'un excellent phonéticien et chanteur.

l'extérieur pendant que le bord libre de la corde vocale, dans un deuxième temps de la phase d'écartement, s'enfonce après s'être relevé. Le même phénomène recommence quand la corde vocale s'est relevée et entre dans une nouvelle première phase vibratoire, et l'on voit une nouvelle arête naître de nouveau avant que la deuxième ne soit complètement disparue latéralement. »

Bien que RÉTHI ait déclaré n'avoir observé ce phénomène qu'en voix de fausset et en registre dit mixte, une pareille description me semble avoir été conceptuellement construite d'après le modèle d'une vibration d'anches libres pendant la formation d'un partiel supérieur.

Comme pour la « ligne nodale » d'OERTEL, on peut penser que l'œil de l'observateur a interprété ce qu'il voyait en fonction de souvenirs ou de connaissances acquises, ce qui est particulièrement excusable à une époque où l'instrumentation laryngo-stroboscopique en était à ses débuts.

Pour ma part, je n'ai jamais observé de tels phénomènes, sur aucun sujet et quels que soient la note d'émission et son registre.

Sur le relief des cordes vocales pendant l'émission de la voix de poitrine.

40. Dans sa remarquable relation de 1933, O. HEYMANN a décrit un phénomène apparaissant à la surface des cordes vocales pendant leur vibration. Il a déclaré avoir observé, pendant l'émission de sons de poitrine, une sorte de mouvement ondulé des deux cordes vocales, mouvement qui semble venir du sinus de MORGAGNI et se propager vers le bord libre, en se confondant avec la vibration de celles-ci. Il a précisé que ce phénomène n'avait jamais lieu, en cas de lésion unilatérale du récurrent, sur la corde vocale malade. Il insiste pour que le phénomène, dont il donne l'observation, ne soit pas confondu avec la « vague » de RÉTHI mentionnée plus haut. Celle-ci commence sur le bord libre des cordes vocales et s'évanouit latéralement. Le phénomène qu'il décrit naît latéralement et semble venir mourir sur le bord libre.

Il n'a jamais observé le même phénomène en voix de fausset; mais il déclare l'avoir observé sur des larynx sains, dans 80 % des cas.

J'ai, en effet, observé des phénomènes analogues à la surface de nombreuses cordes vocales, sans toutefois être absolument sûr qu'il s'agissait du phénomène décrit par HEYMANN, car ce genre d'observations est très-difficile à décrire avec quelque précision. Je pense, cependant, qu'il s'agit bien du phénomène décrit, en 1933, par HEYMANN, car je ne l'ai vu, qu'en voix de poitrine et uniquement sur des cordes vocales saines. J'ajoute que le phénomène est beaucoup plus

apparent sur de gros larynx bien musclés que sur des petits.

Sur les films laryngo-stroboscopiques de HALA & HONTY que j'ai pu voir, et notamment sur celui qui me fut présenté, à Prague, en 1933, on observe très-nettement, pendant la vibration d'une corde vocale, des modifications sensibles de son relief. Le phénomène observé est le suivant : quand la corde vocale est en phase d'accolement, c'est-à-dire accolée à sa congénère, et que la glotte est fermée, sa surface supérieure paraît plane; lorsqu'elle s'écarte pendant la première phase de sa vibration, sa surface supérieure devient *bombée dans une direction perpendiculaire à son bord libre*, comme un bourrelet que l'on gonfle brusquement.

J'ai observé de nouveau ce phénomène directement sur de gros larynx, mais ce léger relief ne s'aperçoit que si l'éclairement des cordes n'est pas trop intense. Si l'éclairage est trop fort, toute trace de relief disparaît.

Les phénomènes observés à la surface des cordes vocales, avec un laryngo-stroboscope, sont difficiles à interpréter. En premier lieu, leurs descriptions sont peu commodes à faire et, d'un auteur à l'autre, on ne sait parfois si l'on a bien observé le même phénomène. En second lieu, il s'agit toujours de phénomènes très-ténus et, si l'on n'y fait pas fort attention, ils passent inaperçus. En troisième lieu, il faut se rappeler que tous les stroboscopes à disques perforés donnent lieu à un certain « balayage », plus ou moins intense selon les appareils. Or, un tel balayage peut provoquer de petites modifications d'éclairement de la glotte, susceptibles d'être prises pour des modifications du relief des cordes vocales.

Cependant, une modification du relief des cordes vocales, pendant le déroulement d'une période vibratoire, n'est pas douteuse, et c'est ce seul point que je veux retenir des descriptions et de la discussion qui précèdent. Tout se passe comme si, pendant que la corde s'écarte de la ligne glottique médiane, *quelque chose tirait son bord libre latéralement en se gonflant*. Je reviendrai sur ces faits dans la Deuxième partie de ce travail.

Les cordes vocales peuvent-elles vibrer sans être en attitude de phonation?

41. Comme de nombreux faits me conduisaient à penser que la physiologie de l'occlusion glottique était distincte de celle de la vibration des cordes vocales, j'ai pensé qu'il était possible, dans certaines conditions, de voir vibrer les cordes sans que celles-ci fussent en attitude de phonation classique, c'est-à-dire en position médiane d'occlusion.

Il fallait, pour cela, solliciter aussi peu que possible la synergie qui unit, pendant la phonation, la contraction des muscles expirateurs et celle du sphincter

glottique, mise en lumière par les *observations 1 et 2* ; donc opérer avec la pression sous-glottique minimum. Ce minimum est atteint sur les notes les plus graves de la voix de fausset.

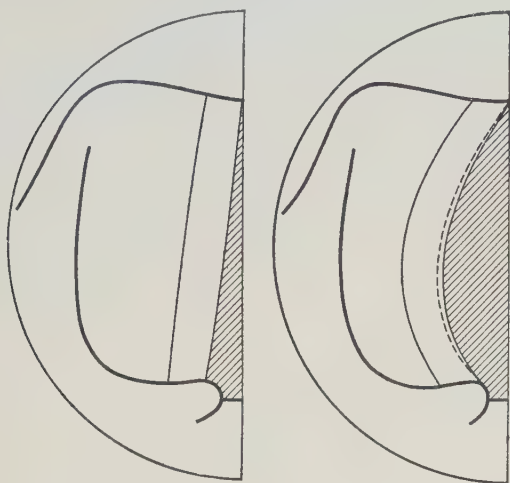


Fig. 26. — VIBRATION DES CORDES VOCALES EN FAUSSET TRÈS-GRAVE (*ut*²), SANS QUE LA GLOTTE SOIT EN ATTITUDE DE PHONATION. PHASE DE FERMETURE (à gauche), LA GLOTTE RESTANT OUVERTE. PHASE D'ÉLONGATION MAXIMUM (à droite).

Les observations qui suivent ont été faites, sur moi-même, à l'hôpital Boucicaut, le 18 mars 1950, par les docteurs GARDE et BLANCHET.

Observations 37 et 38. — Sur *ut*² et *ré*², en voix de fausset.

Son émis : un *è* blanc, ouvert, avec une pression sous-glottique aussi faible que possible.

Amplitude vibratoire considérable. Les cordes ne reviennent jamais en contact, même dans la région aryténoïdienne, laissant entre elles une ouverture triangulaire de 2 mm de largeur à sa base aryténoïdienne (fig. 26).

La vibration débute et s'arrête sur des cordes vocales demeurant dans cette position d'ouverture para-médiane. Le relèvement du bord libre de la corde vocale est à peine sensible.

J'aurai à en tirer des conclusions plus loin (Deuxième partie).

Phénomènes observés à la limite supérieure de la voix de poitrine couverte et de la voix de fausset.

42. Les phénomènes que l'on observe à la limite inférieure de la voix de poitrine ou de la voix de fausset, ne présentent pas d'originalité particulière. Ils se caractérisent par une force de rappel qui atteint son minimum dans le travail vibratoire de la corde vocale, en vue de la ramener à sa position d'accolement médian. D'où deux faits observables :

Une amplitude toujours considérable dans la phase d'élongation maximum ;

Une diminution nette de la fermeté et de la durée de la phase d'occlusion, qui parfois peut faire défaut (§ 41).

Il n'en est pas de même à la limite supérieure, soit de la voix de poitrine, soit de la voix de fausset. Dans la dernière tierce de chacun de ces deux registres, — celle qui précède l'immobilisation absolue des deux cordes vocales —, on observe ce qui suit :

La tension générale des cordes vocales ainsi que celle de toute la musculature laryngée étant à son maximum, et l'amplitude de la vibration étant devenue très-faible, on voit la région aryténoïdienne maintenir un accolement renforcé et cesser de participer à la vibration. Puis cet accolement renforcé gagne, peu à peu, une certaine portion de la partie postérieure des cordes vocales ligamenteuses, qui paraît alors également cesser de vibrer. De sorte que la vibration — d'amplitude déjà très-réduite — semble ne plus intéresser que la partie antérieure restante des cordes vocales (sur les 2/3 ou les 3/4 de leur longueur).

Je reviendrai plus loin (Deuxième partie) sur ce phénomène, pour montrer qu'il existe des raisons d'ordre anatomo-physiologique susceptibles d'expliquer cet accolement aryténoïdien renforcé, et cette limitation de la vibration des cordes vocales à leur partie antérieure, dans la région suraiguë de ces deux registres.

CHAPITRE II

OBSERVATIONS LARYNGO-STROBOSCOPIQUES FAITES DANS DES CONDITIONS ORDINAIRES (Modes vibratoires paranormaux et pathologiques.)

43. Les modes vibratoires décrits ci-dessus sont dits *normaux* parce qu'ils sont observés sur des sujets vocalement sains et de bonne santé générale, d'une part, et d'autre part en raison du fait qu'ils accompagnent des sons chantés de bonne qualité artistique et susceptibles d'acquérir une grande puissance par élévation de la pression sous-glottique (fausset excepté).

Observons :

soit des malades de la voix,
soit des sujets dont la santé générale est altérée,
soit des chanteurs émettant des sons de médiocre qualité artistique ou non susceptibles d'être émis en pleine puissance.

On se trouve alors en face de modes vibratoires extrêmement nombreux et variés que, globalement, je qualifierai de modes *anormaux* pour les distinguer des précédents. Toutefois, certains de ces modes vibratoires anormaux apparaissent chez des sujets dont la voix, sans avoir un caractère absolument normal, n'a pas non plus de caractère franchement pathologique. Ce sont, en réalité, des modes vibratoires que l'on peut qualifier de « paranormaux ». Je les ai cependant systématiquement classés avec les modes vibratoires pathologiques, car, lorsqu'on étudie la genèse de ces modes vibratoires paranormaux, on finit toujours par trouver, soit une altération lésionnelle à son début, soit un trouble fonctionnel de plus ou moins grande intensité. Au surplus, ces modes paranormaux disparaissent, en général, à la suite d'une thérapeutique d'exercices appropriée, donnant place à des modes vibratoires normaux.

La description et l'étude des modes vibratoires anormaux des cordes vocales a donné lieu, en France, en 1941, à une thèse de bonne qualité soutenue devant la Faculté de médecine de Paris, par le Dr ZAIFOL, sous le titre : « Utilisation de la stroboscopie en clinique laryngologique et phoniatrique ». Il y manque, malheureusement, des figures. Je me suis abstenu de toute discussion d'ordre étiologique, sauf exceptions de caractère particulier reprises d'ailleurs dans la

Deuxième partie de ce travail. Enfin les modes anormaux, que je décris ci-dessous, sont sensiblement plus nombreux que ceux classés par le Dr ZAIFOL.

44. En raison de l'extrême variété de ces modes paranormaux et pathologiques, j'ai dû les classer pour les décrire. Je les ai classés par ordre de *gravité croissante*, en gros, en commençant par ceux observés dans les atteintes laryngées *locales* (catarrhes, myopathies, etc.), pour finir par ceux qui apparaissent dans les atteintes *centrales*.

Il est très-remarquable que le trouble le plus bénin porte sur l'*amplitude* de la vibration, en général d'un seul côté.

Puis c'est la *forme* même de la vibration, soit d'une corde, soit des deux, qui paraît modifiée, ce qui implique une atteinte plus profonde.

En troisième lieu, c'est la *fréquence* qui est modifiée, et la genèse du trouble change d'étage : elle n'est plus périphérique, mais névritique, ou bulbaire, ou centrale, etc.

Enfin la vibration peut être *supprimée* : ce terme ultime met alors en cause les étages les plus élevés de la physiologie de la vibration, en dehors, bien entendu, de toute lésion massive portant sur l'appareil vibreur ou sur les conduites nerveuses.

D'où les quatre Classes d'observations qui suivent.

PREMIÈRE CLASSE

MODIFICATIONS

PORTANT SUR L'AMPLITUDE VIBRATOIRE

45. La modification de l'amplitude vibratoire peut :
n'affecter qu'une seule corde (trouble unilatéral) ;
affecter les deux cordes (trouble bilatéral) ;
ne porter que sur un îlot tonal et non sur toute la tessiture ;

porter sur la symétrie spatio-temporelle de la vibration des deux cordes, c'est-à-dire les déphaser.

Trouble unilatéral de l'amplitude.

46. En phase d'ouverture maximum, l'élongation d'une corde est plus grande que celle de l'autre (fig. 27).

Il s'agit, en général, d'une hypotonie plus ou moins légère atteignant la corde dont l'amplitude est la plus forte.

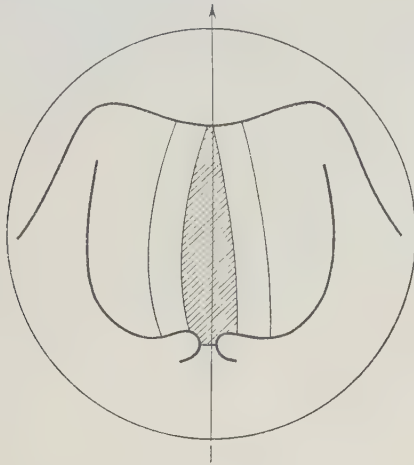


Fig. 27. — TROUBLE UNILATÉRAL DE L'AMPLITUDE PORTANT SUR UNE CORDE DROITE (VUE À GAUCHE), SUR UN *fa*³ EN VOIX DE POITRINE COUVERTE ET EN PHASE D'OUVERTURE MAXIMUM.

MALJUTIN a vu cette anomalie chez 50 % des chanteurs examinés par lui, la corde gauche vibrant moins fortement que la droite. Je confirme qu'en général, c'est la corde droite qui présente l'amplitude la plus forte et qui, en général, est atteinte.

Bien entendu, il n'est pas exclu que la corde malade soit, quelquefois, celle qui vibre le moins fort. Mais, outre que l'étiologie est alors bien différente, le cas est plus rare.

Autre remarque : la forme de la vibration change toujours quelque peu du côté atteint, qui présente une rigidité diminuée.

Trouble bilatéral de l'amplitude.

47. En général l'amplitude est *augmentée*, par suite d'une hypotonie atteignant les deux cordes.

Plus rarement, elle est diminuée.

Lorsque le comportement des deux cordes reste symétrique, il est très-délicat et difficile de juger si l'amplitude est normale ou non, car cette amplitude varie énormément, d'abord selon la hauteur tonale, et ensuite avec l'intensité du son (elle diminue dans le *forte* et augmente dans le *piano*). On ne peut juger, avec certitude, que dans le grave et dans l'aigu.

Si, dans le grave émis *piano*, l'amplitude reste petite, il y a diminution pathologique de l'amplitude.

Si, dans l'aigu émis *forte*, l'amplitude est considérable, il y a augmentation anormale de celle-ci.

En dehors de ces conditions d'observation, on ne peut, en général, rien dire.

Comme plus haut, une atteinte bilatérale de l'amplitude s'accompagne toujours, tant soit peu, d'une modification de la forme de la vibration.

Trouble de l'amplitude

ne se manifestant que sur un îlot tonal.

48. Dans les troubles examinés plus haut (§§ 46 et 47), j'ai supposé implicitement qu'ils se manifestaient sur toutes les notes de la tessiture du sujet.

Mais ils peuvent n'apparaître que sur certaines notes, formant un îlot, de la tessiture. Lorsqu'il en est ainsi, cet îlot est *toujours la région du passage du *mi*³ (hommes) ou du *mi*⁴ (femmes)*.

Lorsque le sujet monte la gamme sur une voyelle ouverte, le trouble commence à apparaître vers l'*ut*³ ou l'*ut dièze*³, s'amplifie et atteint son maximum sur la dernière note émise en voix ouverte, et cesse brusquement sur la première note émise en voix couverte.

Sur l'îlot en question, il peut être unilatéral ou bilatéral.

Si l'atteinte n'est pas observée et soignée à temps de façon appropriée, le trouble s'étend progressivement sur toute la tessiture.

J'estime que cette modification de l'amplitude sur l'îlot tonal du passage du *mi*³ est le premier signe d'un trouble fonctionnel à son début. Il apparaît *toujours* électivement sur la dernière tierce émise en voix ouverte, parce que c'est en cette région tonale que la réaction du résonnateur pharyngo-buccal sur le larynx est maximum, et que par conséquent la corde vocale fatigue le plus dans son travail de *rappel*, comme je le montrerai plus loin. Il apparaît très-rapidement, notamment, si le sujet émet des sons ouverts au-dessus de la limite normale de ceux-ci, au lieu de couvrir le son.

Déphasage de la vibration des deux cordes.

49. Dans un tel trouble, la corde gauche s'écarte de la ligne glottique médiane, tandis que la droite s'en rapproche, puis revient vers la ligne médiane tandis que la droite s'en écarte.

Aperçu pour la première fois par OERTEL, il a été observé de nouveau par D. WEISS, sur un homme de 60 ans porteur d'une vieille laryngite catarrhale subaiguë compliquée de parésie du thyro-aryténoïdien et de l'ary-aryténoïdien. Je n'ai personnellement jamais observé un tel trouble.

D. WEISS me l'a décrit en détail, lors de sa venue à Paris, en 1937, et sa description se laisse assez bien représenter par la figure 28.

Dans le cas relaté par D. WEISS, la différence de phase des deux cordes vocales est d'une demi-période environ.

OERTEL a décrit des vibrations alternées où la différence de phase n'était que de $1/4$ de période environ, et compliquées d'altération unilatérale de l'amplitude. Il s'agissait de sujets, parmi lesquels un chanteur, porteurs de catarrhes chroniques anciens. Dans tous les cas, la voix était très-altérée, sans que cette altération ait été décrite avec précision.

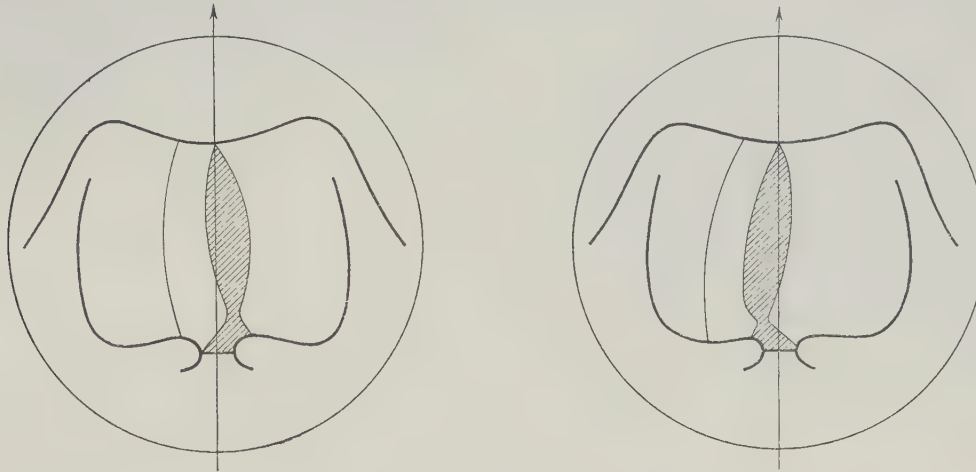


Fig. 28. — VIBRATIONS ALTERNÉES DE D. WEISS.

La corde gauche du sujet s'écarte de la ligne médiane lorsque la droite s'en rapproche (à gauche), puis revient vers la ligne médiane alors que la droite s'en écarte (à droite).

DEUXIÈME CLASSE

MODIFICATIONS

PORTANT SUR LA FORME DE LA VIBRATION

50. Des atteintes périphériques plus profondes (hypotoniques, myopathiques, etc.) se manifestent, le plus souvent, par une modification portant sur la forme même de la vibration, c'est-à-dire sur la façon dont la corde vocale se comporte pendant son travail vibratoire.

Cette modification peut affecter visuellement au maximum :

- soit la phase de fermeture ou d'accolement glottique,
- soit la phase d'élongation maximum,
- soit la longueur de la partie réellement vibrante des cordes vocales,
- soit le comportement de la corde dans sa masse.

Bien entendu, de tels troubles ne seront presque jamais *isolés*, mais il arrive souvent que la modification portant sur un élément (la phase d'occlusion, par exemple) soit *plus apparente* pour l'œil de l'observateur que le reste des modifications adjuvantes : c'est dans ce sens que l'on dira que le trouble porte sur l'élément indiqué.

Modification de la phase d'occlusion.

51. Une modification pathologique de la phase d'occlusion se traduit, en général, par un défaut d'occlusion. Les cordes ne reviennent plus en contact,

ou bien n'assurent plus l'obturation de la glotte sur toute sa longueur.

Parfois, l'obturation complète cesse dans le grave, alors qu'elle persiste dans l'aigu, lorsque se réalisent les plus puissants efforts volontaires de constriction. Il arrive aussi que le défaut d'occlusion complète ne soit visible que sur les sons *piano*, tandis que, dans

l'émission des sons *forte*, une fermeture hermétique réapparaisse sous l'effet d'une contraction glottique synergiquement renforcée.

Lorsque la phase d'occlusion est atteinte, si peu que ce soit, le timbre de la voix se modifie toujours de la même façon : il perd son « mordant », c'est-à-dire ses harmoniques aigus (à partir du sixième), et devient cotonneux, détimbré. Il y a d'ailleurs correspondance réciproque entre cette altération de la fermeture glottique et cette modification du timbre de la voix. J'en donnerai la raison plus loin.

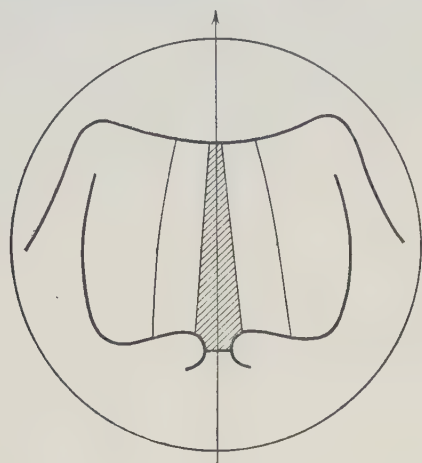
Les altérations de la fermeture glottique ont été décrites depuis longtemps, et il est inutile que je les reproduise ici. Leur aspect caractéristique dépend du ou des muscles adducteurs qui sont atteints. Ces altérations portent surtout sur le mécanisme de l'adduction, et dépendent donc de la physiologie respiratoire de la glotte. Leur retentissement phonatoire n'est que secondaire et c'est pourquoi je crois pouvoir me dispenser de développer, ici, leur étude et leur analyse.

Modification de la phase d'ouverture.

52. La phase d'ouverture de la glotte, pendant la vibration, peut se modifier de trois façons (en dehors d'un simple trouble de l'amplitude) :

- ou bien le bord de la corde dessine un arc plus concave qu'il ne faudrait (fig. 29) ;
- ou bien le bord de la corde est plus rectiligne qu'il ne faudrait ;

ou bien son bord libre se relève plus ou moins pendant la vibration, accusant ce que l'on appelle improprement une « composante verticale », alors qu'il devrait rester dans le plan de la corde et tendu.



demeure fortement accolé au segment qui lui fait face et ne participe plus à la vibration.

Dans les quatre cas (hommes) de cette nature que j'ai pu observer, — il s'agissait de chanteurs de

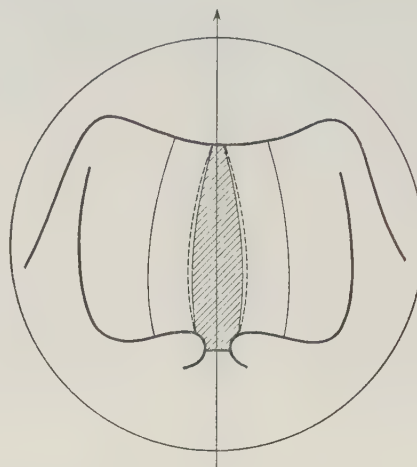


Fig. 29. — ALTÉRATION DE LA PHASE D'OUVERTURE SUR UN SON COUVERT (fa^3) : NORMALE (à gauche), PATHOLOGIQUE (à droite), ALORS QUE L'AMPLITUDE N'EST PAS SENSIBLEMENT ALTÉRÉE. UNE PETITE COMPOSANTE VERTICALE DU BORD LIBRE A ÉTÉ FIGURÉE.

Parfois, mais pas toujours, la dernière altération citée accompagne la première. Parfois aussi, la troisième apparaît sans la première.

L'étiologie de ces troubles est intéressante : c'est parfois le mécanisme de rappel de la corde à sa position

carrière —, ce mode vibratoire à longueur vibrante réduite était accompagné des circonstances suivantes :

- 1) L'amplitude était également très-diminuée sur les notes émises ainsi.
- 2) Le sujet, parvenu en voix ouverte au voisinage

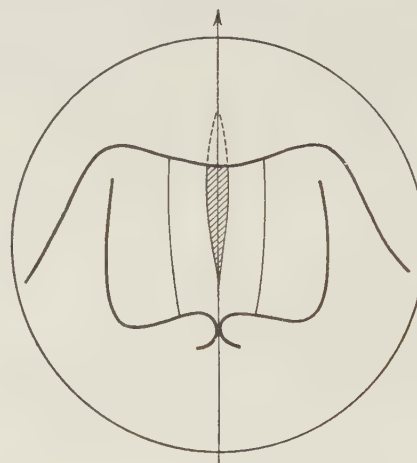
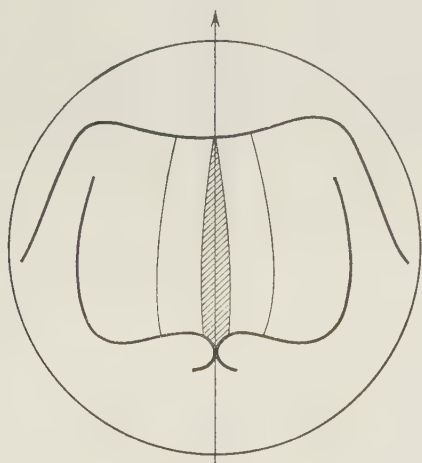


Fig. 30. — La^3 ÉMIS PAR DEUX TÉNORS : EN VOIX DE POITRINE COUVERTE (à gauche) ; EN MODE VIBRATOIRE DE LONGUEUR RÉDUITE (à droite). PHASE D'ÉLONGATION MAXIMUM DANS LES DEUX CAS.

d'accolement médian qui est atteint ; mais ce peut être aussi le mécanisme qui la tire vers l'extérieur, auquel cas l'acte vibratoire lui-même est plus profondément atteint (voir Deuxième partie).

Il convient de dire que ces troubles apparaissent quelquefois unilatéralement, et souvent avec des intensités inégales à droite et à gauche.

Modification de la longueur de la partie vibrante.

53. Chez certains sujets, on observe parfois que la partie vibrante des cordes vocales se réduit aux deux-tiers ou aux trois-quarts antérieurs, tandis que le reste

du mi^3 , ne couvrirait pas le son au passage, et c'est un peu au-dessus du passage que commençait à apparaître l'accolement renforcé de la région aryénoïdienne et la réduction de la longueur vibrante (fig. 30).

3) Sur des sons encore plus aigus, l'accolement postérieur semblait se renforcer, l'amplitude diminuait, et la longueur vibrante se réduisait encore.

4) La rigidité générale de tout le larynx était fortement augmentée et très-supérieure à celle observée sur le son couvert de même hauteur.

5) Les sons émis avec ce mode vibratoire de longueur réduite sont de timbre très-différent des sons

de poitrine couverts de même hauteur : par rapport à ces derniers, ils sont moins volumineux, moins sombres, plus clairs, plus stridents. Dans le suraigu (*ut*⁴, par exemple), ils se rapprochent un peu d'un fausset très-renforcé.

TARNEAUD a décrit ce mode vibratoire sous le nom de « vibration réduite » de la corde vocale, et estime qu'il résulte d'une sorte d'adaptation du larynx à l'émission des sons aigus lorsque le sujet chante plus haut que le *mi*³ ou le *fa*³, sur une voyelle ouverte, sans couvrir le son. Ce mode vibratoire ne serait donc pas expressément pathologique, sans être absolument normal.

J'approuve ce jugement plein de prudence. Si ce mode vibratoire est incontestablement plus fatigant pour le larynx que le mode couvert normal, l'expérience montre, cependant, qu'il n'est pas incompatible avec une carrière artistique de moyenne importance. De plus, je montrerai, plus loin, que certaines données anatomo-physiologiques font comprendre pourquoi, dans le suraigu, tant en fausset qu'en poitrine, ce phénomène tend à se produire.

Dans les cas observés, ce qui était anormal, c'est que ce mode vibratoire apparaisse et soit employé dès le *fa*³, alors que, à cette hauteur, l'emploi de sons couverts eût été physiologiquement préférable.

Modification

du comportement de la corde vocale dans sa masse.

54. Il arrive enfin que toute la masse de la corde vocale, pendant l'acte vibratoire, ait un comportement anormal. Cela apparaît dans les hypotonies profondes du thyro-aryténoïdien interne et dans certaines atteintes dites improprement « paralysies » récurrentielles.

On voit alors la corde vocale atteinte se soulever en s'écartant et retomber à un niveau plus bas dans son retour à la position médiane. Elle paraît détendue, flaccide.

C'est la vibration « passive » de certains auteurs, la vibration « en drapeau » de TARNEAUD, la vibration en « battement de mayonnaise » d'autres observateurs, etc.

Lorsqu'elle se complique de parésie du crico-thyroïdien, la flaccidité générale peut s'accompagner d'une sorte de vague du bord libre qui le parcourt dans le sens de sa longueur.

Une telle altération est parfois unilatérale : j'en ai observé souvent ; parfois aussi bilatérale, avec une intensité différente à droite et à gauche.

Toujours elle est accompagnée d'un trouble de l'amplitude, de la phase d'occlusion, et de la phase d'ouverture du côté atteint.

J'ajouterai une seule remarque : si profondément atteinte soit la corde vocale qui présente un tel mode

vibratoire, sa vibration n'est *nullement passive*, c'est-à-dire nullement celle d'une anche agitée passivement par le courant d'air glottique ; elle résulte toujours d'une *stimulation récurrentielle* homorythmique à sa congénère. Ce qui le prouve, c'est que :

la flaccidité s'atténue ou même disparaît dans le suraigu très-appuyé ;

lorsque la stimulation récurrentielle est atteinte, la corde ne vibre plus du tout, ou vibre irrégulièrement, ou vibre à une fréquence différente de sa congénère (voir ci-dessous).

Il ne s'agit encore, avec un tel mode vibratoire, que d'une altération limitée au vibrateur lui-même.

TROISIÈME CLASSE

MODIFICATIONS

PORTANT SUR LA FRÉQUENCE VIBRATOIRE

55. De nombreux observateurs ont signalé que, pendant qu'une corde vocale était vue en vibration au stroboscope, l'autre était vue immobile. Cette immobilité peut résulter du fait que :

ou bien cette corde est réellement immobile ;

ou bien, elle vibre à une fréquence différente de la première, et par conséquent différente de la fréquence de l'illumination stroboscopique.

J'ai eu l'occasion d'observer ces deux phénomènes, notamment sur des sujets atteints de lésions centrales (voir chap. IV).

Le cas où les deux cordes vibrent à des fréquences différentes donne lieu aux distinctions suivantes :

la même corde vibre toujours à une fréquence un peu inférieure à celle de l'autre sur toute la tessiture ;

le même phénomène n'a lieu que sur un flot tonal ;

une corde vibre à une fréquence différente et très-petite, et de façon très-irrégulière.

La même corde vibre à une fréquence un peu inférieure et sur toute la tessiture.

56. En agissant sur le bouton de réglage du stroboscope, pour diminuer la fréquence, on trouve tout de suite un accord sur la seconde corde vocale. Celle-ci est alors vue en vibration, tandis que c'est la première qui est vue immobile. Le phénomène est visible sur toute la tessiture.

La différence de fréquence dépasse rarement une vingtaine de vibrations, et elle est le plus souvent beaucoup plus petite.

Il n'y a pas diplophonie (deux sons entendus simultanément), mais la voix est d'un timbre roulant, un peu granuleux, de mauvaise qualité.

Fait important : la corde qui vibre à la fréquence la plus grave accuse une amplitude toujours faible, tout en paraissant hypotonique.

L'altération du timbre est très-marquée dans le grave, et se marque de moins en moins dans l'aigu.

Le sujet déclare être contraint de faire un effort pour assurer la justesse de la note émise et son maintien à une hauteur donnée.

Même phénomène sur un ilot tonal seulement.

57. Sur un sujet, j'ai observé le phénomène décrit plus haut sur des notes graves seulement. Dans le haut médium et dans l'aigu, à partir de la région du *la*², les cordes vibraient sur la même fréquence.

Comme plus haut, le sujet déclare qu'il peine pour émettre un son à une hauteur voulue à l'avance, exprimant par là qu'il est contraint à un effort volitif qui lui paraît anormal.

Une corde vibre à une fréquence très-grave, toujours la même, mais de façon irrégulière.

58. Des vibrations irrégulières d'une corde vocale, où la périodicité rigoureuse n'est pas assurée ou fluctue rapidement autour d'une certaine fréquence, ont été signalées par ZUMSTEEG, ANTHON, LEVIDOV; et HEGENER signale dans ce cas une différence de niveau entre les deux cordes.

J'ai observé un tel phénomène sur deux sujets atteints d'hémiplégie corticale (voir chap. IV). Dans les deux cas, la corde homolatérale vibrait normalement, tandis que la corde hétérolatérale, située à un niveau plus bas, vibrait de façon fort irrégulière sur une fréquence très-grave, de la région du *sol*¹. A la vérité, cette dernière « remuait », ou « battait », plus qu'elle ne vibrait, mais sans que ce mouvement ait un caractère passif.

La voix était fort altérée, monotonale, et se maintenait sur l'intonation habituelle qui était précisément le *sol*¹.

QUATRIÈME CLASSE

SUPPRESSION DE LA VIBRATION D'UNE OU DES DEUX CORDES VOCALES

59. La corde vocale vue immobile, au stroboscope, peut être réellement immobile : on ne trouve alors aucune fréquence d'illumination stroboscopique qui lui rende son mouvement.

Je ne m'occupe ici, bien entendu, que de cordes vocales d'apparence normale, sans lésions locales (œdème, tumeur, etc.) pouvant laisser pressentir une cause périphérique à l'arrêt de la vibration.

On peut distinguer :

l'arrêt de la vibration d'une corde sur toute la tessiture ;

l'arrêt de la vibration d'une corde sur un flot tonal ;

l'arrêt vibratoire des deux cordes vocales.

Arrêt de la vibration d'une corde sur toute la tessiture.

60. MALJUTIN, STERN, D. WEISS, etc., et, en France, TARNEAUD, ont observé et décrit l'arrêt vibratoire d'une corde vocale sur toute la tessiture. Je l'ai observé aussi.

La voix chantée est altérée en qualité ; le sujet se fatigue plus vite. La voix parlée n'apparaît pas modifiée.

Par un sujet observé, j'ai fait filer un *si*³ (femme), pensant voir la corde immobile écartée par le courant d'air, dans le *forte* : il n'en fût rien. La corde immobile demeura rectiligne, sans tension excessive, en position médiane d'accolement. A chaque inspiration, elle s'écartait normalement et revenait se mettre en position phonatoire.

Arrêt de la vibration d'une corde sur un ilot tonal.

61. Sur un sujet (homme), j'ai observé l'arrêt vibratoire de la corde droite dans le grave ; la vibration reparaisait dans l'aigu, à partir du *si*², mais avec une amplitude nettement plus petite que celle de la corde opposée.

Le sujet accusait un effort volitif anormal en vue d'émettre un son, surtout dans l'aigu.

Arrêt de la vibration des deux cordes vocales.

62. Il s'agit de cordes parfaitement normales, se mettant en position phonatoire classique, mais ne pouvant vibrer, quelle que soit l'intensité de l'effort volitif du sujet.

Je n'ai jamais observé ce cas, mais TARNEAUD en a observé un, le 13 janvier 1936, et l'a longuement étudié ; je l'exposerai plus loin (chap. VII). L'origine centrale du trouble était certaine. L'aphonie disparaissait pendant certaines périodes.

EXPÉRIENCES ET OBSERVATIONS LARYNGO-STROBOSCOPIQUES AVEC FORTE COCAÏNISATION DES CORDES VOCALES

63. En vue de préciser certains points de la physiologie de la voix chantée, relatifs à l'exécution des passages, je me suis rendu, le 4 janvier 1950, à l'hôpital Boucicaut et j'ai demandé au Dr Éd. GARDE, chef de la consultation de phoniatrie, de bien vouloir procéder sur moi-même à trois séries d'expériences identiques avec observation stroboscopique concomitante des cordes vocales.

Une première série d'expériences a été conduite sans cocaïnisation des cordes vocales ni du pharynx ; je les ai décrites plus haut (§§ 20 et 21).

Une seconde série a été exécutée avec cocaïnisation du pharynx.

Une troisième série a été faite avec cocaïnisation poussée du pharynx, du vestibule laryngé et des cordes vocales, cette dernière réalisée par deux attouchements successifs avec un porte-coton.

La solution utilisée était une solution de cocaïne à 3 %, dite de HIRSCH.

Résultats des expériences avec cocaïnisation du pharynx.

64. 1° On a d'abord noté que l'émission du son ouvert, sur *ré*³, *mi bémol*³ et *mi*³, était un peu plus pénible que dans les conditions d'émission de la série précédente. Pour émettre ces sons, il faut « pousser » davantage, c'est-à-dire réaliser un effort de constriction glottique plus marqué et plus soutenu par la volonté, et probablement une pression sous-glottique plus élevée.

2° De plus, des « couacs » apparaissent sur ces sons ouverts, dès que le sujet cesse de soutenir suffisamment l'effort volitif de phonation.

La vision stroboscopique met en évidence ce qui suit :

3° Sur les sons ouverts, le modelé des cordes vocales pendant leur vibration est un peu plus arrondi, plus boudiné, que dans la série des expériences précédentes.

4° Sur les sons « couverts », l'aspect de la corde vocale en vibration est plus aminci, plus rubané, que dans la série des expériences précédentes.

5° En passant du son ouvert au son couvert, les apophyses vocales des aryténoïdes baissent nettement de niveau.

6° La « couverture » du son se fait plus difficilement, et nécessite une action volontaire plus marquée.

Les quatre premiers faits peuvent s'expliquer de la façon suivante : l'anesthésie du pharynx a supprimé l'action excito-réflexe du tonus de la musculature laryngée qui était en provenance du pharynx, comme il est connu. Le sujet a dû y suppléer en faisant croître la contraction volontaire du sphincter glottique, ainsi que celle du crico-thyroïdien.

La baisse de niveau constatée des apophyses vocales des aryténoïdes résulte d'une action plus puissante du crico-thyroïdien, qui tend les cordes vocales en tirant sur leur insertion thyroïdienne.

Le dernier fait observé est particulièrement intéressant : il montre que la stimulation réflexe à l'exécution du passage prend également sa source dans la région pharyngée, et non uniquement au niveau des cordes vocales.

Résultats des expériences avec cocaïnisation poussée du pharynx, du vestibule laryngé et des cordes vocales.

65. La cocaïnisation du vestibule laryngé a été réalisée par cinq pulvérisations profondes et quatre attouchements au porte-coton, et celle des cordes vocales par deux attouchements successifs directs avec un porte-coton.

Les modifications observées, très-importantes, sont les suivantes :

1° La voix de fausset a été immédiatement supprimée.

2° Pour émettre les sons ouverts, le sujet doit faire un effort considérable et soutenu ; ils sont toutefois toujours émis à la hauteur désirée.

3° La « couverture » du son se fait beaucoup plus difficilement, en ce sens qu'elle exige du sujet un effort de volition très-accusé. Son exécution réflexe paraît abolie.

La vision stroboscopique permet les constatations suivantes :

4° Les cordes vocales, tant en voix ouverte qu'en voix couverte, vibrent avec une rigidité qui paraît plus réduite, et laissent apparaître une sorte d'ébauche de composante verticale dans leur vibration, c'est-à-dire un petit relèvement de leur bord libre.

5° L'amplitude de leur vibration n'est cependant que faiblement diminuée.

6° La « couverture » du son apparaît plus brusquement qu'au cours des séries d'expériences précédentes, mais elle s'accompagne de modifications posturales plus réduites, moins marquées.

7° Enfin apparaissent parfois des « ratés » dans la vibration, sortes d'arrêts très-courts des cordes vocales en position médiane d'accolement, sans modification audible concomitante du son émis (probablement en raison de l'amortissement des mécanismes auriculaires).

Effets observés, quatre heures après la cocaïnisation.

66. Quatre heures après la fin des expériences, les effets de la cocaïnisation poussée des cordes vocales étaient encore très-sensibles. On notait ce qui suit :

1° La voix de fausset était revenue dans son intégrité deux heures auparavant.

2° Le sujet peut toujours émettre des sons de poitrine ouverts du *sol*¹ au *mi*³, et couverts du *mi*³ au *la bémol*³, mais l'émission des sons ouverts est devenue très-difficile à partir du *la bémol*² (premier passage, à partir duquel le caractère « ouvert » des sons devient très-net).

3° La voix a perdu tout mordant : elle est devenue blanche, détimbrée.

Cela traduit une baisse importante de la rigidité des cordes vocales, sans altération de leur mécanisme vibratoire intime.

4° La « couverture » du son tend à ne pas se faire de façon réflexe ; le sujet, pour la réaliser, doit la faire volontairement et par un effort marqué. Elle se fait alors mal, avec des couacs fréquents.

Effets observés, vingt-quatre heures au moins après la cocaïnisation.

67. Vingt-quatre heures après la cocaïnisation, la récupération vocale était encore très-incomplète. On notait ce qui suit :

1° La voix de poitrine a repris un peu de mordant, mais seulement dans les sons graves et jusqu'au *la bémol*² exclusivement (premier passage).

2° Dès le *la bémol*² (premier passage, à partir duquel les sons dits « ouverts » accusent leur caractère « ouvert »), l'émission des sons ouverts donne encore

lieu à des difficultés qui vont croissant dans l'aigu. Le son « ouvert » reste blanc et détimbré.

3° Au *mi*³, la couverture du son se fait encore mal, avec des couacs où apparaît parfois un son de fausset à la quinte aiguë du son désiré.

(Observations contrôlées, le 5 janvier, par André RICHARD, de l'Opéra et de l'Opéra-Comique.)

Premières conclusions.

68. 1° Il est confirmé que le déclenchement de la « couverture » du son à partir du *mi*³ est bien un réflexe proprioceptif à point de départ laryngé. La cocaïnisation des cordes vocales tend à le supprimer, et le sujet ne peut plus l'exécuter que volontairement, et plus difficilement.

Mais la cocaïnisation du pharynx, au-dessus du vestibule laryngé, tend déjà à le supprimer, ce qui montre que son déclenchement est aussi à *stimulation intéroceptive pharyngée*.

Cela me paraît à rapprocher du fait que le pharynx reçoit des filets sensitifs du laryngé supérieur, et que ce dernier, bien que nerf sensitif, contient cependant, par son rameau le *laryngé externe*, les filets moteurs du crico-thyroïdien, muscle dont l'entrée en action constitue un facteur essentiel de la « couverture » du son.

2° Le premier passage du *la bémol*² — encore appelé « petit passage » parce qu'il est toujours très-peu sensible — n'avait jamais été décrit jusqu'à présent accompagné de modifications dans la statique musculaire laryngée intrinsèque (cela à la différence du passage du *mi*³, ou « vrai passage », qui est toujours accompagné d'actions musculaires intrinsèques et extrinsèques considérables). Or de telles modifications ont lieu cependant au passage du *la bémol*², puisque la cocaïnisation des cordes vocales modifie l'émission beaucoup plus fortement au-dessus du *la bémol*² qu'au dessous, avec une scissure bien nette.

Si l'on rapproche ce fait des *observations 8, 10 et 12*, on constate que ces modifications de la statique intrinsèque de la musculature glottique, au petit passage du *la bémol*², consistent en un accroissement net de la rigidité des thyro-aryténoïdiens internes et surtout en leur accolement plus vigoureux dans la phase de contact de la vibration des cordes vocales.

Cette action, d'ailleurs assez sensible à la vision stroboscopique dès le *si*² ou l'*ut*³, me paraît devoir être en relation avec l'entrée de fibres du thyro-aryténoïdien *externe* dans la participation à l'effort d'accolement des cordes vocales dans leur phase vibratoire d'occlusion, dès le *la bémol*² et sur les sons ouverts.

3° Enfin, dans la Deuxième partie de ce travail, je tirerai de ces expériences des conclusions ayant trait à la genèse de la vibration des cordes vocales.

CHAPITRE IV

OBSERVATIONS LARYNGO-STROBOSCOPIQUES SUR DES SUJETS PRÉSENTANT DES LÉSIONS CENTRALES

69. Les observations relatées dans ce chapitre ont été faites par moi, à l'hospice de Bicêtre, en mars-mai 1935, avec l'aide du Dr André OMBREDANE, alors assistant de la Chaire de psychologie pathologique à la Sorbonne; le stroborama employé était celui de l'Institut de phonétique de Paris, obligeamment prêté par son directeur.

Une vingtaine de sujets, choisis dans le service du professeur ALAJOUANINE, ont été examinés, sur lesquels six observations seulement ont été retenues après discussion. Il fallait à la fois posséder un diagnostic neurologique suffisamment précis et disposer d'une observation stroboscopique convenable des cordes vocales du même sujet. Ce double desiderata ne fut entièrement satisfait que pour les six cas retenus, mais leur valeur en est accrue.

Les résultats diffèrent suivant que le siège de la lésion est cortical, bulbaire, ou dans le cervelet.

Lésion corticale.

70. *Observation 39.* — Lésion : hémiplegie corticale droite, extrêmement marquée, à prédominance brachiale (M. D. 49 ans).

L'examen des cordes est difficile. Le sujet ne peut lui-même tirer la langue hors de sa bouche. Il faut aller la saisir et la tirer. Le sujet bave abondamment. Pour poser le miroir sur la luelette, il faut cocaïniser au préalable. Au cours de 6 essais, les cordes sont bien vues deux fois.

Le son est rauque, grave, monotonal. Je dois accorder le stroboscope sur lui, sur *sol*¹, limite grave extrême du stroborama. Le sujet ne peut moduler : malgré ses efforts, il ne peut influencer sur la hauteur et émet toujours un *sol*¹.

Au laryngoscope, on observe ceci :

La corde gauche est immobile en position médiane; elle ne s'écarte pas à l'inspiration; elle est plus basse que la corde droite.

La corde droite s'écarte à l'inspiration et revient en position médiane.

Au stroboscope, sur *sol*¹, seule note émise par le sujet, on observe ceci :

La corde droite vibre normalement.

La corde gauche vibre aussi (je le vérifie une seconde fois), mais il s'agit d'une vibration irrégulière, instable, sur laquelle je dois rechercher l'accord sans cesse en agissant sur le bouton de réglage du stroboscope (écarts d'une dizaine de vibrations environ). Toutefois il ne s'agit pas d'un ébranlement passif : la corde ne flotte pas et ne paraît pas détendue.

Observation 40. — Lésion : hémiplegie corticale gauche, extrêmement accentuée. Aphasie. Grosse diminution intellectuelle (M. X., 54 ans).

Comme dans le cas précédent, l'examen est très-pénible. Il faut aller saisir la langue du sujet dans sa bouche, la tirer et la maintenir.

Le son émis est sourd, toujours le même, accordé sur *si*¹. Le sujet ne peut le faire varier de tonalité.

Au laryngoscope, j'observe :

La corde droite est immobile en position médiane, très-basse, et ne s'écarte pas à l'inspiration.

La corde gauche s'écarte à l'inspiration et revient à la position médiane.

Au stroboscope accordé sur *si*¹, seule note émise par le sujet, je note ce qui suit :

La corde gauche vibre normalement avec une forte amplitude.

La corde droite paraît immobile, mais, en abaissant très-lentement la fréquence du stroboscope, je vois qu'elle bat sur *la*¹ environ, avec une amplitude faible, de façon irrégulière, avec un accord sans cesse rompu et réapparaissant; et comme elle ne paraît ni détendue ni flottante, il ne s'agit pas d'un phénomène passif d'entraînement.

Observation 41. — Lésion : Parkinsonien typique, prédominance membres droits (M. E., 62 ans).

Signes aphasiques fugaces, légers. Timbre chevrotant, mais de caractère plutôt sénile.

Observation facile. Le sujet prend bien l'accord avec la note du stroboscope.

Au laryngoscope : rien d'anormal.

Au stroboscope, sur *ré*², puis sur *sol*², en voix de poitrine, j'observe ce qui suit :

Les deux cordes vibrent.

La corde droite (vue à gauche) du sujet bat avec une amplitude énorme, d'aspect hypotonique.

Les vibrations droites et gauches ne sont pas symétriques dans le temps. Comme un accollement médian des deux cordes se perçoit toujours, je pense d'abord à un déphasage de 1/4 de période. En redoublant d'attention, je vois qu'il n'en est rien : la corde droite bat deux fois pendant que la gauche ne bat qu'une fois. Comme cela a lieu 4 fois par seconde environ, c'est que la corde droite vibre à une fréquence plus grave de 4 vibrations que celle de la corde gauche.

Observation 42. — Lésion : Paralysie faciale gauche, très-atténuée, portant sur la bouche, la joue, l'œil, etc., droits (Madame M., 42 ans).

Signes aphasiques légers dans la parole. Timbre normal un peu assourdi.

Observation facile. Le sujet s'accorde de lui-même sur le stroboscope.

Au laryngoscope : aspect normal.

Au stroboscope, sur *ut*³, j'observe ce qui suit :

Les vibrations sont normales des deux côtés.

La corde gauche revient en position médiane d'occlusion normale.

La corde droite présente une occlusion moins bonne, caractéristique d'une parésie du crico-aryténoïdien latéral (Fig. 31).

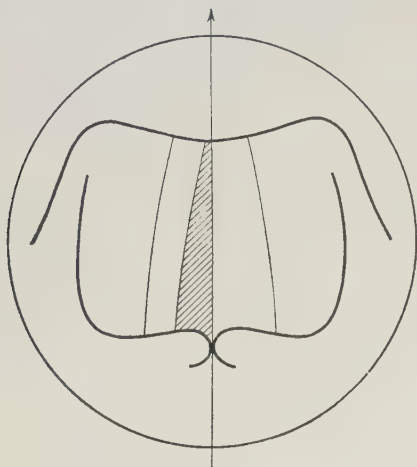


Fig. 31. — PHASE D'OCCLUSION
AVEC PARÉSIE DU CRICO-ARYTÉNOÏDIEN LATÉRAL DROIT.

Je renouvelle l'observation sur *mi*³, *sol*³, *ut*⁴. Je note alors ce qui suit :

Les vibrations sont toujours normales des deux côtés.

La phase d'occlusion s'améliore et devient bonne dans l'aigu.

Lésion bulbaire.

71. Observation 43. — Lésion : Paralysie labio-glosso-laryngée droite, due à l'opération, au niveau du bulbe (côté droit), d'une métastase provenant d'un néoplasme du sein (origine nucléaire) (M. TEISSIER, 45 ans).

Signes bulbaires entraînant des phénomènes paralytiques au niveau des V, VIII, IX, X, XI et XII.

Hypoacousie droite. Inexcitabilité vestibulaire droite. Nystagmus spontané.

Le sujet émet toujours un son à hauteur désirée par lui, mais dans le grave seulement. Il ne peut émettre de sons aigus.

Au laryngoscope, je note :

La corde droite est immobile en position paramédiane ; elle est plus basse que l'autre ; elle s'écarte peu dans l'inspiration.

La corde gauche est en position médiane normale, mais un peu déviée à droite ; elle s'écarte dans l'inspiration (fig. 32).

Au stroboscope, j'observe sur *la*¹, puis sur *ut*³, et je note :

La corde gauche vibre normalement, avec une grande amplitude.

La corde droite est immobile, ce que je vérifie en faisant varier la fréquence stroboscopique sur une octave (du *fa*¹ au *fa*²).

Lésion du cervelet.

72. Observation 44. — Lésion : atteinte typique du cervelet déterminant une hypotonie généralisée et grave. Le sujet (Maurice KLEE, 22 ans) est un cas d'« homme caoutchouc ».

Mis debout contre un mur, il s'y tient un instant, vacille et s'effondre. Placé assis sur une chaise, il vacille peu à peu et tombe à droite ou à gauche.

Sa main est molle et flaccide, mais s'il le désire, il vous serre la main avec vigueur.

Il parle convenablement. Sa voix est bonne.

Je m'attendais à trouver, au stroboscope, des cordes fortement hypotoniques avec une vibration « en drapeau ». Il n'en fut rien. L'observation me montra des cordes longues, larges, nacrées, bien tendues, accusant un accolement correct, et vibrant normalement et amplement sur toute la tessiture du grave à l'aigu (*ut*³, *sol*³, *ut*⁴, *mi*⁴).

Premières conclusions.

73. Je me borne à transcrire les conclusions rédigées en 1935.

Les résultats observés diffèrent suivant que le siège de l'affection est cortical ou bulbaire.

A) En cas d'atteinte *corticale unilatérale* :

1° La corde homolatérale vibre quasi normalement.

2° La corde hétérolatérale se situe à un niveau inférieur et paraît immobile au laryngoscope ordinaire ; l'observation stroboscopique révèle qu'elle vibre encore, mais à une fréquence plus petite, irrégulière et instable, nécessitant, pour son observation, une modification continue du réglage de la fréquence du stroboscope.

3° Le sujet ne peut moduler aucun son ; sa voix habituelle est très-altérée, grave, rauque, monotonale.

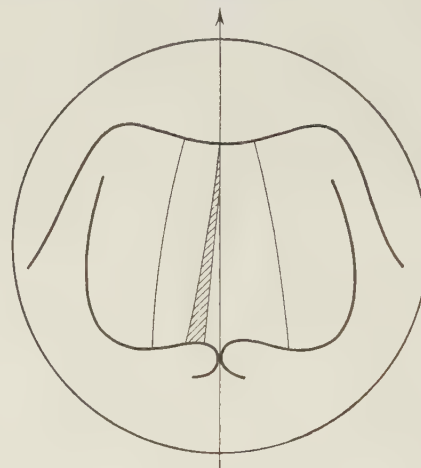


Fig. 32. — PHASE D'OCCLUSION : CORDE DROITE IMMOBILE EN POSITION
PARAMÉDIANE ; CORDE GAUCHE VIBRANTE DÉVIÉE À DROITE.

B) En cas d'atteinte *bulbaire unilatérale* :

1° La corde hétérolatérale vibre quasi normalement.

2° La corde homolatérale se situe à un niveau inférieur, en position paramédiane, et paraît immobile au laryngoscope ordinaire ; l'observation stroboscopique révèle qu'elle est réellement immobile.

3° Le sujet garde en général une faible possibilité de moduler un son (lorsque sa culture musicale le lui permet).

C) Ces faits établissent que la vibration des cordes vocales admet un conditionnement :

1° De niveau cortical à prédominance hétérolatérale dans le chant et, de façon générale, dans l'émission de sons à une hauteur voulue.

2° De niveau au moins bulbaire à prédominance homolatérale, sans contrôle cortical, dans la voix habituelle et, de façon générale, dans l'émission des sons sans volition concomitante d'une hauteur donnée.

Ils précisent en outre que :

3° Dans une lésion unilatérale corticale, la vibration de la corde atteinte (hétérolatérale) persiste dans la voix habituelle, si le niveau bulbaire est intact ; mais cette vibration est irrégulière, et le sujet perd la possibilité de moduler volontairement.

4° Dans une lésion unilatérale bulbaire, la vibration de la corde atteinte (homolatérale) est supprimée ; mais le sujet garde une faible possibilité de moduler volon-

tairement, grâce au contrôle cortical qui continue à s'exercer sur la vibration de la corde opposée.

D) La phonation ne met aucunement en jeu, au sein de la musculature laryngée intrinsèque, une contraction *tonique*, même renforcée, mais uniquement une contraction *volontaire*.

Il en résulte notamment que les troubles de la vibration décrits classiquement comme des *hypotonies*, — même ainsi dénommés dans le présent travail selon l'usage —, sont en réalité des *affaiblissements de la contractilité volontaire*. Le terme d'hypotonie qui les désigne n'a qu'une valeur symptomatologique et non étiologique.

EXPÉRIENCES AVEC UN RÉSONNATEUR ADJUVANT

74. C'est en 1932 que Desider WEISS eut l'idée de rapprocher les passages de la voix des phénomènes observés dans les tuyaux associés à des anches vibrantes. On sait que, pour certaines fréquences, le tuyau réagit sur l'anche et en altère plus ou moins fortement la vibration. Comme l'expérience montre que, au sein de l'organe phonateur humain, une telle réaction exercée par la cavité pharyngo-buccale, si elle existe, ne peut modifier en général la fréquence du son laryngien, en raison de la brièveté et de l'amortissement du tube additionnel sus-glottique, D. WEISS eut l'idée ingénieuse et féconde d'adjoindre à ce dernier un résonnateur long et peu amorti, — un long tube de cuivre ou de verre accolé à l'orifice labial —, en vue de tenter de mettre en évidence sa réaction sur le larynx.

Ses premières expériences systématiques furent décrites dans son mémoire : « Ein Resonanzphänomen der Singstimme » (*Monatssch. f. O. L. R.*, Heft 8, 66^e année, 1932), et les résultats en furent rapprochés des passages de la voix dans un second travail « Zur Frage der Registerbruchstellen. Die Wirkung vorgeschalteter Resonanzröhren auf die Stimme » (*Zeitschrift f. H. N. O.*, Heft 3, Band 30, 1932).

A la même époque, et sans connaître ces travaux, des observations stroboscopiques directes me montraient fortuitement que le résonnateur pharyngo-buccal réagissait sur la vibration des cordes vocales pendant la phonation. Je rédigeais un mémoire sur la question (paru dans la *Revue française de phoniatry*, Avril 1933, pp. 106-167), ainsi qu'une Note aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences* de Paris (séance du 15 mai 1933), lorsque les travaux de D. WEISS me parvinrent, et je crus devoir les citer dans ces deux écrits.

Mais aucune contestation ne saurait avoir lieu : la priorité de la découverte de la réaction du résonnateur pharyngo-buccal sur la vibration des cordes vocales appartient à D. WEISS, ainsi que l'idée d'y voir la genèse des passages de la voix chantée.

75. Dans les années qui suivirent et jusqu'à la guerre, la question du couplage existant entre le larynx et les cavités sus-glottiques fit l'objet d'études

nombreuses, surtout en langue allemande, et même de controverses. J'y reviendrai plus longuement dans la Troisième partie de ce travail.

Les expériences fondamentales de D. WEISS ont notamment été refaites, et analysées du point de vue physique, par KAGEN & TRENDLENBURG, en 1937, dans leur mémoire : « Zur Kenntnis der Wirkung von künstlichen Ansatzröhren auf die StimmSchwingungen » (*Archiv. f. Sprach- und Stimmheilkunde und ang. Phon.*, Heft 3, Band 1, Juillet 1937).

Avec le tube de cuivre apporté à Paris en 1937 par D. WEISS lui-même, je les ai refaites également, mais pour examiner deux autres points de vue.

Je donne ci-après, succinctement, d'abord les résultats obtenus par D. WEISS, puis les observations complémentaires que j'ai tirées des mêmes expériences, en vue de voir :

1° Si les « cassures de la résonnance » signalées par D. WEISS étaient des phénomènes de même nature que les passages de la voix chantée ;

2° Si l'adjonction d'un tube modifiait la hauteur tonale et les conditions d'exécution des passages ordinaires de la voix chantée.

Les expériences de D. Weiss
et les « cassures de la résonnance ».

76. D. WEISS chante une gamme ascendante, c'est-à-dire émet un son de sirène, dans un tube de verre ou de cuivre fortement collé contre ses lèvres ou introduit dans l'ouverture labiale et étroitement cerclé par ses lèvres. Il constate une altération de sa voix, et même des difficultés d'émission, sur certaines hauteurs tonales. Il expérimente des tubes de 50, 75, 100, et 150 cm de longueur. *Les sons sont altérés lorsque le son chanté correspond au fondamental ou à un partiel du tube.*

Avec le tube de 150 cm, les fréquences critiques trouvées par KAGEN & TRENDLENBURG sont 90, 180 à 195, 270 et 380 vibrations doubles, qui sont bien dans le rapport de 1 : 2 : 3 : 4, et correspondent à une série harmonique de tuyau ouvert.

Si l'on tente de soutenir un son altéré, la période oscille ainsi que l'amplitude, et le son peut même être

arrêté net. En même temps, l'arrière-gorge et le larynx sont le siège de sensations particulières.

Si, sur une fréquence critique, on nasalise le son, c'est-à-dire si l'on abaisse le voile du palais, toute altération du son cesse, ce que l'on peut expliquer en admettant que l'ouverture d'une voie aérienne secondaire a rendu le couplage moins étroit, ou bien a modifié le son propre du résonnateur.

D. WEISS, assimilant les passages de la voix à des phénomènes de cette nature, en conclut que la hauteur des passages doit être en rapport étroit avec les sons propres de la cavité pharyngo-buccale.

Les passages de la voix sont-ils des phénomènes de même nature ?

77. Pour voir si les passages de la voix sont des phénomènes de même nature que les altérations subies par la voix dans les expériences de D. WEISS, j'ai répété ces dernières avec le tube de 150 cm, en opérant comme suit :

Je chante un *a* sur *sol*² et *la bémol*², en exécutant le « petit passage » qui, chez moi, a sa position optimum entre ces deux notes ; cela en laissant l'orifice du tube à quelques centimètres de ma bouche.

Puis j'introduis le tube dans mon orifice buccal, en le cerclant fortement, et je chante un *a* sur *fa dièze*² et *sol*², endroit où se situe le renforcement du second partiel du tube couplé à la bouche.

Je répète alternativement plusieurs fois l'opération, c'est-à-dire l'émission de *sol*² et *la bémol*² sans le tube, et, tout de suite après, l'émission de *fa dièze*² et *sol*² avec le tube. Chaque fois, je porte mon attention sur mes sensations internes ressenties au niveau du pharynx et du larynx, je les analyse et je les compare.

Mêmes petites expériences dix fois de suite répétées pour le grand passage du *mi*³ :

Je chante un *a* sur *mi bémol*³ et *mi*³, en ouvrant le premier et en couvrant le second, le tube étant hors de la bouche.

Puis j'introduis le tube et je chante *fa dièze*³ et *sol*³, notes entre lesquelles le tube renforce son quatrième partiel.

Comme tout à l'heure, j'analyse et je compare les sensations ressenties dans les deux cas au niveau du pharynx et du larynx.

Ensuite je chante de même, avec le tube, un *a* sur *fa dièze*¹ et *sol*¹, pour ressentir le premier partiel (fondamental) du tube ; enfin sur *ut dièze*³ et *ré*³, pour ressentir le troisième partiel.

Mes observations sont les suivantes :

Avec le tube couplé à la bouche, les sensations ressenties sur les fréquences critiques sont *plus intenses* que celles ressenties sur les passages dans le chant ;

et elles apparaissent d'une façon *très-brusque*, sur des notes de *hauteur fixe*, alors que dans le chant les passages peuvent être effectués un peu au-dessous ou un peu au-dessus de leur hauteur optimum.

Ces faits proviennent de ce que le tube est peu amorti, comparativement à la cavité pharyngo-buccale.

Mises à part ces différences d'intensité et de spontanéité dans l'apparition, les sensations internes ressenties avec ou sans le tube me paraissent être de même nature : elles ont *même localisation* et tendent à déclencher les *mêmes réflexes*.

Sur *fa dièze*¹ et *fa dièze*², avec le tube, les sensations ressenties sont les mêmes qu'avant le « petit passage » du *la bémol*² ; elles intéressent l'arrière-bouche et le pharynx, et très-peu le larynx. Sur *ut dièze*³, avec le tube, la sensation s'accuse déjà nettement au niveau du larynx, comme avant le « grand passage » ; et sur *fa dièze*³, la sensation au niveau du larynx est intense et identique à celle ressentie dans le chant sur un *mi*³ ou un *fa*³ *trop ouvert*. De fait, avec le tube, la sensation est si forte sur *fa dièze*³ que le passage se fait sur *sol*³ (et même quelquefois sur *fa dièze*³) : mais je passe malgré moi *directement en fausset*, sans parvenir à accrocher le régime vibratoire laryngien intermédiaire constitué par la voix couverte.

Les passages de la voix subsistent-ils avec l'adjonction du tube ?

78. On en décide en recommençant l'expérience de D. WEISS avec grand soin, et en analysant finement ses sensations internes au voisinage des passages normaux (pour moi : *la bémol*² et *mi*³).

J'ai constaté *qu'ils subsistaient*, mais avec les particularités suivantes :

1° On les ressent moins, car les fréquences critiques dues aux partiels du tube créent des sensations comparativement beaucoup plus intenses.

2° Ils sont *déplacés, vers le haut*, d'un demi-ton ou d'un ton environ.

Ce dernier fait est à rapprocher de celui-ci : le tube non accolé à la bouche a pour fondamental *la*¹ ; adjoint à la bouche, son fondamental tombe à *fa dièze*¹. Ces deux faits s'expliquent ainsi : lorsque l'on couple deux résonnateurs, le son propre le plus grave est aggravé, le plus aigu est rendu plus élevé.

Premières conclusions.

79. Nos observations corroborent entièrement, en les précisant, les vues développées par D. WEISS. J'en formule les résultats comme suit :

1° Pendant la phonation, les phénomènes de résonance qui ont lieu au sein des cavités additionnelles

(pharynx et bouche) réagissent sur la vibration des cordes vocales. Cette réaction s'accuse lorsqu'une cavité quelconque, pharynx ou bouche, trouve dans la fourniture laryngée un harmonique assez voisin d'un de ses partiels pour le renforcer.

2° Cette réaction se met en évidence en adjoignant à la bouche un tube assez long, peu amorti, dont les partiels, excités par le son laryngien, réagissent avec intensité sur la vibration des cordes vocales. Le tuyau ajoute alors ses propres fréquences critiques à celles provenant de la cavité pharyngo-buccale. Les sons propres provenant de l'une et de l'autre sont un peu modifiés par leur couplage, dans le sens indiqué par la théorie.

3° Il y a un « passage » de la voix, à proprement parler, chaque fois que, le sujet émettant un son de

sirène ascendant, une cavité quelconque (pharynx, bouche, ou tube) abandonne le renforcement d'un harmonique donné du son laryngien, pour se rapprocher du renforcement de l'harmonique immédiatement plus grave.

4° A chaque passage, quelle que soit la cavité qui lui donne naissance, le sujet perçoit des sensations particulières dans l'arrière-bouche, le pharynx, et le larynx. Lorsque les sensations *laryngées* sont assez intenses, elles déclenchent, sur certaines hauteurs tonales, des modifications réflexes dans la statique musculaire intrinsèque du larynx et dans le mode vibratoire des cordes vocales. Ce sont ces sensations internes et ces modifications musculaires réflexes, au niveau du larynx, que les chanteurs appellent « passages » de la voix, désignant ainsi l'effet pour la cause.

CHAPITRE VI

EXPÉRIENCES ET OBSERVATIONS LARYNGO-STROBOSCOPIQUES AVEC ASSOURDISSEUR

(Avec ou sans résonnateur adjuvant)

80. Comme un grand nombre de faits me conduisaient à penser que les cordes vocales vibrent, dans le chant, à une fréquence *imposée* par le rythme des stimulations récurrentielles qui leur parviennent, en liaison probablement directe avec les centres corticaux de l'audition, j'ai demandé au D^r GARDE de m'aider à réaliser différentes expériences *sous l'assourdisseur*, c'est-à-dire dans des conditions telles que le rythme de la stimulation récurrentielle ne pouvait plus bénéficier d'une régulation auditive provenant d'un contrôle extéroceptif auriculaire.

Les expériences ont été conduites à l'hôpital Boucicaud, les 18 et 22 mars 1950, avec l'aide du D^r BLANCHET. L'assourdisseur employé était celui de l'hôpital (assourdisseur mécanique de BARANY, un pour chaque oreille. Les assourdisseurs électriques ne produisent pas un bruit sensiblement plus intense).

Il a été réalisé :

des observations laryngo-stroboscopiques sous l'assourdisseur ;

des expériences d'émission avec le tube de WEISS sous l'assourdisseur, au voisinage des partiels du tube adjuvant.

La vibration des cordes vocales sous l'assourdisseur.

81. Toutes les observations relatées ci-après ont été exécutées de la façon suivante : pendant que j'émetts un son sous vision laryngo-stroboscopique pratiquée par le D^r GARDE, le D^r BLANCHET, qui a au préalable introduit dans mes deux oreilles les embouts des deux assourdisseurs, déclenche l'assourdissement sur un signe de l'observateur des cordes vocales. Chaque expérience est recommencée un nombre suffisant de fois pour assurer une vision convenable des cordes vocales et une ou deux répétitions de l'observation.

Observation 45. — Sur *si*¹ en voix de poitrine.

Pendant la vision stroboscopique, l'assourdisseur est mis en marche. Je n'entends plus ma voix. L'intensité du son croît, et sa fréquence monte d'un ton environ. Observations identiques sur *ut*² et *ré*².

Observation 46. — Sur *sol*² en voix de poitrine.

Lorsque l'assourdisseur est en marche, j'entends encore ma voix par conduction osseuse, faiblement, mais de façon suffisante pour effectuer un contrôle de la hauteur. L'intensité du son croît, mais il garde sa hauteur.

Observation 47. — Sur *fa*² en fausset.

En vue de diminuer la conduction osseuse, toujours forte en voix de poitrine, je continue les expériences en voix de fausset.

Sur *fa*², dès que l'assourdisseur est en marche, le D^r GARDE note ce qui suit : le son monte de 1/2 ton environ ; l'intensité croît et, tout de suite, je passe en voix de poitrine (sans que je m'en rende compte) ; l'amplitude est diminuée, la fermeture glottique meilleure.

Observation 48. — Sur *si* bémol² en fausset.

Dès que l'assourdisseur est en marche, le son monte d'un ton environ.

Sur cette note, je suis resté en fausset et, lorsque le son est monté sur *ut*² environ, je le perçois très-faiblement.

Aucune expérience ne peut être faite sur une note plus aiguë, car, à partir de l'*ut*², je perçois ma voix faiblement malgré l'assourdissement, et cette perception suffit pour que la régulation de la fréquence soit assurée.

Observation 49. — (importante) : Sur *la*² en fausset. Passage de *è* ouvert à *eu* fermé (voir obs. 33).

Dès que l'assourdisseur est en marche, le son monte d'un ton environ. Après réaccord du stroboscope, je passe, sur la même hauteur tonale et sans m'entendre, de *è* ouvert à *eu* fermé. En arrivant sur *eu* fermé, le son baisse de 1/2 ton environ.

La réaction sur les cordes vocales a fait baisser le son, au moment où le pharynx s'est quasi réaccordé sur un harmonique dont le numéro d'ordre est inférieur d'une unité à celui précédemment renforcé.

Les expériences de Weiss sous l'assourdisseur.

82. Comme l'adjonction du tube de 150 cm met en évidence une forte réaction sur les cordes vocales, il était naturel de rechercher comment pouvait se manifester cette réaction lorsque le contrôle de la hauteur tonale n'existe plus, c'est-à-dire sous l'assourdisseur.

Le tube employé était un tube de verre de 150 cm de longueur et de 15 mm de diamètre. Pour le serrer

NOTES ÉMISES	RÉSULTATS OBSERVÉS
Voix de poitrine	
<i>mi</i> ¹	Le son monte de 1/2 ton.
<i>fa</i> ¹	Le son monte de 1 ton.
<i>fa dièze</i> ¹	Le son monte de 1/2 ton. Les difficultés d'émission apparaissent. Variations d'amplitude et trémolo.
<i>sol</i> ¹	Grosses difficultés d'émission. Fort trémolo avec saccades pendant lesquelles le son s'arrête.
<i>la bémol</i> ¹	Encore des difficultés d'émission et un trémolo. Le son baisse légèrement.
<i>la</i> ¹	Trémolo léger. Le son baisse de 1/2 ton.
<i>la dièze</i> ¹	Le son monte légèrement.
<i>si</i> ¹	Le son monte légèrement.
Fausset	
<i>mi</i> ²	Le son monte de 1 ton.
<i>fa</i> ²	Le son monte de 1 ton environ et manifeste de l'instabilité en fréquence.
<i>fa dièze</i> ²	Difficultés d'émission. Trémolo. Fréquence instable.
<i>sol</i> ²	Émission quasi impossible. Fréquence instable, baissant parfois brusquement à <i>la</i> ¹ , puis remontant à <i>fa</i> ² .
<i>la bémol</i> ²	Mêmes phénomènes que sur <i>sol</i> ² .
<i>la</i> ²	Encore des difficultés. Trémolo. Le son baisse légèrement.
<i>la dièze</i> ²	Le son monte légèrement.
<i>si</i> ²	Le son monte légèrement.

convenablement dans les lèvres en gardant la bouche grande ouverte, il a fallu le cercler fortement avec un linge, sous plusieurs épaisseurs, à l'extrémité introduite dans la bouche. Le son fondamental était *la*¹; couplé à la bouche, il tombait à *fa dièze*¹, avec des partiels harmoniques *fa dièze*², *ut dièze*³, *fa dièze*³, etc.

La technique d'expérience était simple : je chantais dans le tube, et le D^r GARDE, tenant les embouts des assourdisseurs enfoncés dans mes deux oreilles, déclenchait l'assourdissement; puis il notait la variation du son émis par moi.

J'ai surtout étudié les phénomènes qui apparaissaient

au voisinage des deux premiers partiels du tube, c'est-à-dire autour des hauteurs tonales où la réaction sur le larynx était au maximum de son intensité. Pour ne pas entendre ma propre voix malgré l'assourdissement, il m'a fallu opérer en voix de poitrine autour du *fa dièze*¹, et en fausset autour du *fa dièze*². Les partiels supérieurs n'ont pu être étudiés, car, à leurs hauteurs tonales, je percevais ma voix et maintenais la fréquence du son émis.

Le Tableau ci-contre indique les résultats notés par le D^r GARDE.

Observation 50. — Modification des sons émis avec tube adjuvant de 150 cm et sous assourdisseur au voisinage des deux premiers partiels du tube : *fa dièze*¹ et *fa dièze*².

Premières conclusions.

83. Les expériences faites sous l'assourdisseur montrent uniformément que, dès que le contrôle auditif de la hauteur tonale est supprimé, la fréquence du son laryngien varie avec une extrême facilité : elle est devenue *instable* (cela indépendamment du fait que l'intensité du son croît, phénomène observé depuis longtemps).

En particulier, cette fréquence est devenue *très-sensible* aux effets réactionnels exercés par les cavités sus-glottiques couplées au larynx. Dès que cette réaction s'accuse un peu, la fréquence du son émis par le larynx varie : c'est ce que montrent les *observations* 49 et 50, et d'autres aussi que je rapporterai dans le chapitre VII qui suit.

Quant au sens dans lequel s'effectue la variation de hauteur du son laryngien, il est donné par la règle suivante :

« Lorsque le contrôle auditif de la hauteur tonale est supprimé, — et qu'un contrôle pallessthétique ou psycho-mnémo-auditif suffisant ne lui est pas substitué par le sujet —, la fréquence du son laryngien est attirée par le partiel le plus voisin de la cavité sus-glottique qui exerce sur le larynx la plus forte réaction, ou bien, si ce partiel varie de hauteur, la fréquence laryngée tend à varier dans le même sens. »

Du point de vue physique, on peut dire que, hors de tout contrôle auditif (sensoriel ou psychique), *les cordes vocales se comportent comme un oscillateur qui serait attaqué, au voisinage des passages, par une pulsation forcée dont la fréquence serait celle du partiel renforcé le plus voisin ou de son sous-harmonique le plus voisin. Les phénomènes observés vont alors dans le sens d'une synchronisation ou d'une démultiplication de fréquence.*

En revanche, sur le passage lui-même et dans le cas de l'adjonction d'un résonnateur peu amorti (expérience de WEISS), la réaction est tellement forte qu'elle donne lieu à des *phénomènes de chute d'une fréquence à une*

autre avec hystérésis de fréquence, analogues à ceux décrits par L. AUGER : Oscillations auto-entretenues dans les tuyaux sonores à anches battantes (Thèse, Fac. des sc. de Paris, 17 juin 1943). [Voir aussi à ce sujet la « *Théorie des oscillateurs* » par Yves ROCARD (éditions de La revue scientifique, Paris, 1941); spécialement le chap. II, pp. 55 et suivantes, et le chap. VI, pp. 181 et suivantes.]

Ce qu'il y a de curieux, ici, c'est que le rôle de l'*oscillateur libre* est joué par les cordes vocales hors du contrôle auditif (comme si la suppression de ce

contrôle avait « libéré » leur oscillation d'un certain entretien ou d'une fréquence imposée), tandis que le rôle de *pulsateur imposé* est joué par l'air de la cavité résonnante (qui est en toute rigueur un oscillateur libre) au voisinage d'un de ses partiels.

Cette réciprocité entre le rôle joué par les deux oscillateurs (larynx et résonnateur) est une preuve de plus de leur fonctionnement *couplé*, comme la théorie le montrerait. Elle est même une preuve formelle et suffisante de leur *couplage*. J'y reviendrai plus loin (Troisième partie).

CHAPITRE VII

EXPÉRIENCES ET OBSERVATIONS DE DIVERS AUTEURS, RAPPORTÉES ET UTILISÉES

84. A mes propres observations et expériences, j'ajouterai enfin, pour achever la relation des faits expérimentaux de toute nature sur lesquels j'édifierai une nouvelle explication des phénomènes phonatoires, certaines observations et expériences faites par divers auteurs, dont l'interprétation est particulièrement claire et facile avec les vues que je développerai dans les Deuxième et Troisième parties de ce travail.

Je les grouperai ainsi :

- 1) Observations et expériences relatives à la vibration des cordes vocales.
- 2) Observations et expériences relatives à la réaction des cavités nasales sur la vibration des cordes vocales.
- 3) Observations relatives aux conséquences phonatoires de certains troubles auditifs.

PREMIÈRE CLASSE

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES RELATIVES A LA VIBRATION DES CORDES VOCALES

Expériences de Lindemann (1930).

85. Étant donné leur importance, je donne ci-dessous la traduction intégrale de la partie du mémoire qui décrit les expériences et donne les conclusions de leur auteur : *Studies of action currents in laryngeal nerves* (*Proc. Soc. of the Experim. Biol. and Med.*, t. 27, 1930, pp. 479-481), par le Dr Erich LINDEMANN, Docteur à la State University of Iowa.

« Dans le but d'augmenter les connaissances sur le mécanisme neurophysiologique de la phonation, les courants d'action furent enregistrés pour les nerfs laryngés supérieur et inférieur pendant la production de la voix chez les Chiens. Le son de plainte ou d'aboïement produit, quand l'animal vient de sortir de son anesthésie à l'éther, est recueilli par un microphone condensateur et grossi par un amplificateur monophasé. En même temps que la voix, les courants apparus dans les nerfs laryngés supérieurs et inférieurs sont captés par des électrodes en platine (car des

électrodes non polarisables ont donné des échecs dans quelques expériences), et amplifiés par un amplificateur triphasé à résistances couplées. L'enregistrement, aussi bien de la voix que des courants, fut réalisé au moyen d'un oscillographe Westinghouse à trois éléments.

» Le nerf laryngé inférieur fut mis à nu juste au-dessous du cartilage thyroïde, et le nerf laryngé supérieur à quelques millimètres de sa pénétration dans la membrane crico-thyroïdienne.

» Le tracé montre que, lorsque aucun son n'est produit, la ligne est pratiquement au repos. Pendant la production de la voix, la ligne des courants du nerf laryngé inférieur montre des oscillations régulières ayant la même fréquence que la ligne de la voix. La fréquence de ces oscillations des courants change avec le ton de la voix. En vue d'exclure toute influence d'une source non physiologique, l'expérience fut fréquemment répétée avec des électrodes de formes différentes, et après avoir éloigné complètement l'amplificateur de la salle d'opération. Bien plus, si une électrode est retirée du nerf et placée sur du tissu musculaire voisin, la régularité des fréquences disparaît.

» Dans le but de déterminer la direction dans laquelle les changements de potentiel se font, le nerf laryngé inférieur fut sectionné et les enregistrements pris, d'une part au bout central, et d'autre part au bout périphérique. Ceux du bout central présentent encore des oscillations régulières d'une fréquence égale au ton de l'enregistrement de la voix. Le champ des fréquences ainsi observées s'étend entre 380 et 1800 oscillations par seconde. C'est pourquoi nous prétendons que les changements de potentiel observés vont de l'organe central au larynx.

» Nous ne nous croyons pas justifié de considérer ces potentiels réguliers comme prenant naissance dans les plus hauts centres de coordination. Nous considérons le nerf laryngé supérieur comme la possible branche efférente d'un mécanisme réflexe proprioceptif utilisant le nerf laryngé inférieur comme branche afférente.

» Les enregistrements pris du nerf laryngé supérieur ne montrent pas les oscillations régulières observées, mais des changements de potentiel irréguliers de petite amplitude et de fréquence lente qui indiquent que ce nerf est essentiellement sensitif.

» La section du nerf laryngé entraîne un changement définitif du courant sur le tracé du nerf laryngé inférieur. Il semble que les oscillations régulières décrites auparavant disparaissent, après cette opération, du côté du nerf sectionné. Bien que cela ne prouve pas que le nerf laryngé supérieur serve de branche efférente dans l'arc réflexe, c'est en faveur de l'explication offerte pour les oscillations régulières observées dans le nerf laryngé inférieur. »

Expériences de Dumont (France, 1933).

86. Dans une remarquable Thèse : « Étude chronaximétrique sur le larynx », soutenue, en avril 1933, devant la Faculté des sciences de Paris, Pierre DUMONT a eu l'occasion — ayant en vue un tout autre objet que celui que je poursuis ici — de stimuler électriquement, à différents rythmes, le récurrent de chiens endormis. Voici comment il s'exprime à ce sujet (p. 30).

« Dans les excitations à rythme lent, nous avons observé, pour chaque excitation, une dilatation instantanée et rapide de la glotte, d'ailleurs immédiatement suivie d'une contraction. Soit donc, une suite de dilatations élémentaires telles que nous les avons parfois observées dans nos mesures de chronaxie par l'excitation du tronc du nerf laryngé inférieur. Il n'y a pas de sommation, ni addition, mais simplement répétition.

» Dans les excitations à rythme rapide, au contraire, le phénomène observé est tout à fait différent. Il s'agit d'un véritable tétanos de tous les muscles, non-seulement intrinsèques, mais également extrinsèques, déterminant une occlusion complète de la glotte et s'accompagnant d'un mouvement de fibrillation des cordes vocales en rapport avec le rythme. Ces vibrations des cordes sont probablement analogues à celles qui se produisent dans l'émission des sons.

» On peut donc bien affirmer que les excitations simples ou à un rythme très-lent déterminent des dilatations, alors que les excitations répétées à un rythme supérieur à 10 ou 15 à la seconde, déterminent une constriction dont les mouvements élémentaires se fusionnent de plus en plus, au fur et à mesure que le rythme devient plus rapide, pour aboutir à un tétanos parfait, auquel se surajoute une fibrillation des cordes (et cela lorsque le rythme dépasse 50 à la seconde). »

Un cas de paralysie de la vibration des cordes vocales sans altération de l'adduction (Tarneaud, 1936).

87. Le Dr TARNEAUD m'avait transmis, en 1936, une intéressante observation portant sur un cas typique de paralysie de la vibration des cordes vocales, sans altération concomitante de l'adduction. Il est à rapprocher de ceux que j'ai décrits au Chapitre IV, qui précède. Son intérêt me conduit à reproduire ici, presque *in extenso*, l'analyse très-détaillée communiquée par le Dr TARNEAUD.

M^{lle} G., âgée de 38 ans, nous est adressée, le 13 janvier 1936, par le Dr Henri DROMER, pour des crises répétées d'aphonie, consécutives, soit à un coryza, soit à un fléchissement de l'état général.

Interrogée, la malade, infirmière de dispensaire, nous apprend qu'elle a eu sa première extinction de voix à l'âge de 12 ans ; puis, à 18 ans, elle fit une pleurésie, redevint aphone et dut interrompre ses études. A l'âge de 26 ans, l'aphonie réapparut et dura 11 mois, à la suite d'une fatigue excessive. Depuis ce temps, elle a 2 à 3 fois par an, toujours pour la même cause, un manque de voix qui dure de 8 jours à 2 mois. En outre, elle a perdu toute capacité de chanter.

En octobre 1930, elle eut une paralysie faciale totale gauche dont le diagnostic étiologique reste inconnu. On pensa qu'il s'agissait d'une compression du facial par une adénopathie cervicale haute. Soignée pour cette affection par ionisation et radiothérapie, elle a eu une amélioration, mais sa paralysie reste nettement visible.

Elle se plaint également de douleurs fréquentes dans la nuque et de sensibilité à la pression à l'émergence du nerf grand occipital d'ARNOLD. En 1933, elle présenta des troubles sensitifs du bras avec difficulté motrice, qui cédèrent assez rapidement. En outre, depuis plusieurs années, elle souffre, au niveau de la colonne vertébrale lombaire, sans qu'on ait pu établir la correspondance de ces douleurs avec une lésion locale.

M^{lle} G., calme de tempérament, s'analyse très-bien, a un bon état général ; elle ne présente pas de troubles digestifs, elle est réglée normalement, et n'a ni l'aspect ni les réactions d'une infectée psychique.

Le dernier examen laryngologique, pratiqué durant la crise, par le Dr DROMER, lui a montré une parésie complète et bilatérale des thyro-aryténoïdiens internes, avec légère rougeur des cordes.

Nous pratiquons l'examen laryngo-stroboscopique de M^{lle} G., alors que sa voix est facile, quoiqu'un peu voilée.

Rien à signaler au niveau du nez et du pharynx.

Nous constatons que les cordes vocales sont tendues, légèrement rosées, et qu'elles vibrent correctement, aussi bien sur *si*² que dans l'octave³. Cependant, il est à noter que l'accrolement des cordes vocales en position médiane n'a pas lieu. Les deux cordes vocales laissent entre elles, pendant la phonation, un espace glottique minime quoique de même dimension sur toute l'étendue glottique ; cela explique le léger voile soufflé de la phonation. Nous ne constatons pas de lésion inflammatoire proprement dite ni d'atteinte parétique particularisée.

Devant la pauvreté des symptômes recueillis pour expliquer les troubles phoniques, nous demandons au Dr VIBERT de pratiquer l'examen pulmonaire, et nous lui recommandons de faire cet examen dans les conditions actuelles et après avoir provoqué chez la malade un effort et un essoufflement.

Les résultats de l'examen pulmonaire sont les suivants :

Clinique : négatif.

Radioscopique : transparence pulmonaire et hiles normaux. Les diaphragmes ont tous les deux une certaine irrégularité de leur forme, qui se manifeste surtout dans les mouvements. Mais ceux-ci sont d'une amplitude convenable et les deux sinus sont clairs. L'ombre cardiaque est normale.

A son arrivée, la malade n'avait pas de dyspnée, mais un pouls à 90°. Après l'examen radioscopique, apparition d'une légère dyspnée avec pouls à 110. Puis, l'ascension rapide de deux étages détermine une dyspnée considérable et déclenche l'aphonie. Le pouls monte à 140. La tachycardie reste au-dessus de 120 pendant plusieurs minutes, et on constate à la radioscopie qu'en concordance avec cette dyspnée, les mouvements diaphragmatiques sont insuffisants. En outre, la malade éprouve le besoin d'exécuter de nombreux baillements.

Le Dr VIBERT nous renvoie immédiatement M^{lle} G., afin que nous la revoyons en état d'aphonie.

La malade, essoufflée, fatiguée par sa journée de Paris et ses différents examens médicaux, s'exprime d'une voix sourde et chuchotée. A l'examen laryngo-stroboscopique, les cordes vocales se rapprochent en adduction de même façon qu'avant la crise de dyspnée; nous ne constatons aucun trouble de motilité du larynx. L'espace glottique est le même en phonation que lors de notre premier examen.

Nous essayons vainement de rechercher la vibration sur l'octave² et l'octave³. Malgré que les cordes vocales soient en position d'adduction et tendues, la vibration ne se produit pas. Nous obtenons, sur la¹ seulement, une vibration à peine perceptible et d'une amplitude minime.

En conclusion de notre examen et de celui du Dr VIBERT, nous pensons qu'il s'agit, chez cette malade, non pas d'une maladie laryngée, mais d'un trouble neurologique, puisque nous avons constaté un syndrome portant sur la respiration, l'activité cardiaque et la phonation.

Nous demandons un examen neurologique au Dr MICHAUX, qui nous adresse la lettre suivante :

« Je partage pleinement votre impression. Ces troubles laryngés, respiratoires et cardiaques, me paraissent relever d'une névrite du pneumogastrique. Reste à en déterminer l'étiologie. La coexistence de la paralysie faciale périphérique gauche plaide en faveur d'une méningo-encéphalite diffuse. S'agit-il de la maladie de VAN ECONOMO? Rien dans les antécédents, dans la coexistence d'hypertonie, de tremblements, aucun signe extrapyramidal ou excito-moteur ne permet de l'affirmer.

Cependant, les déterminations neuro-végétatives de la maladie (thèse de MASSARY) sont assez fréquentes pour que cette hypothèse soit retenue. J'aurais désiré l'étayer par des données biologiques : la ponction lombaire n'a pu être réalisée à la Salpêtrière où j'avais adressé la malade.

Il peut encore s'agir d'une de ces méningo-encéphalites diffuses à virus inconnu dont les observations se multiplient actuellement.

Quoi qu'il en soit, je partage votre impression clinique quant à la genèse infectieuse vraisemblable de semblables troubles, et je serais partisan d'une thérapeutique antiseptique intra-veineuse (12 injections intra-veineuses d'un gramme de soliglane glucosé; puis, après 15 jours de repos, 12 injections intra-veineuses d'une ampoule de 20 cm³ de Naïodine B). »

Les conclusions à tirer de cette observation sont les suivantes :

1° Nous avons d'abord à mettre en valeur que M^{lle} G. est venue nous consulter surtout pour une aphonie qui l'inquiétait particulièrement en raison des différents diagnostics étiologiques qui lui avaient été donnés.

Dans les examens antécédents, on avait incriminé la tuberculose, la syphilis, et la malade était tellement préoccupée de ses crises de plus en plus fréquemment répétées d'aphonie et de

ces diagnostics tellement graves qu'elle s'était confiée au Dr DROMER et à nous-même en vue d'être fixée de façon définitive sur la cause exacte et la nature même de sa maladie.

2° L'étude laryngologique, pulmonaire et neurologique de la maladie nous amène à des précisions concordantes. Il s'agit d'une affection encéphalitique diffuse dont le virus et la lésion sont actuellement impossibles à déterminer.

Il n'en est pas moins vrai que la maladie présentée est celle d'une névrite du pneumogastrique à effets paroxystiques portant sur la respiration, le rythme cardiaque et la phonation.

3° L'examen laryngo-stroboscopique nous a donné des précisions intéressantes. Alors que la malade était aphone et ne pouvait se servir que de la voix chuchotée, nous avons vu qu'il n'y avait aucun trouble moteur des muscles laryngés.

Il était même assez curieux de voir que la voix chuchotée, qui est considérée classiquement comme produite par l'écartement postérieur de la portion ligamenteuse des cordes vocales, était réalisée chez la malade par une ouverture linéaire et de même grandeur de toute la glotte.

Lorsque nous avons voulu rechercher la vibration avec la plus grande minutie, nous n'avons pu la trouver sur les octaves 2 et 3.

Bien entendu, on pourra toujours, dans des cas de cette espèce, incriminer l'examen stroboscopique et dire qu'il n'est valable que lors de l'émission d'un son clair et dont la hauteur est maintenue suffisamment longtemps. Pour nous, cet argument tombe de lui-même, étant donné que nous n'avons jamais vu, lors de nos examens stroboscopiques, une absence de vibration sans pouvoir en déterminer la cause exacte, et qu'en l'occurrence, l'absence de son était bel et bien conditionnée, non pas par un vice d'observation stroboscopique, mais par manque de vibration. D'autre part, on ne pourra nous présenter l'objection que la malade avait de la dyspnée et ne pouvait de ce fait, réaliser le mouvement vibratoire des cordes vocales. Cette dernière objection tombe parce qu'à l'examen spirométrique, l'expiration était encore de plus d'un litre, c'est-à-dire d'une quantité suffisante pour l'émission d'une sonorité convenable.

Nous considérons, en définitive, que la malade présentait une abolition complète du mouvement vibratoire sur les octaves habituelles de la voix parlée, alors que l'acte moteur volontaire d'adduction des cordes vocales était normal.

Du fait de l'altération des centres nerveux, le seul trouble expliquant l'aphonie que nous avons constaté était une paralysie de la vibration.

DEUXIÈME CLASSE

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES RELATIVES A LA RÉACTION DES CAVITÉS NASALES SUR LA VIBRATION DES CORDES VOCALES

88. Les cavités nasales et sinuses présentent, du point de vue de leur rôle phonatoire, les particularités suivantes :

1) Leur forme et leur volume sont quasi invariables, de sorte qu'elles ne peuvent que rarement et fortuitement se trouver accordées sur un harmonique de la fourniture laryngée.

De fait, l'observation montre qu'elles ne sont presque jamais le siège de phénomènes de résonance, mais le siège d'un relancement *in tempo*, qui a pour conséquence, lorsqu'il est assez intense, de superposer au

son du larynx un ensemble de formants aigus de hauteurs fixes caractérisant la « nasalisation » des sons du point de vue du timbre.

2) Étant à parois osseuses ou cartilagineuses, elles ont un amortissement plus faible que la cavité pharyngo-buccale.

De ce fait, on peut penser qu'elles exerceront éventuellement sur le larynx une réaction assez marquée.

3) Elles communiquent mal, ou pas du tout, avec l'onde extérieure vocale qui atteint l'auditeur. L'énergie vibratoire qui leur parvient pendant la phonation est donc en quasi-totalité absorbée par elles, ou transmise au massif osseux et cartilagineux de la face. Leur rôle est donc, de ce point de vue, à peu près exclusivement dissipatif.

De ce fait, le chanteur ressent à leur niveau, pendant la phonation, un ensemble de sensations intenses, qu'il croit pouvoir localiser de façon précise, et à la localisation desquelles il accorde, en général, une valeur *normative* considérable (parfois excessive). Outre qu'il commet, en général, l'erreur de voir en elles la preuve d'une « résonnance nasale », — alors qu'elles ne traduisent qu'une *dissipation* d'énergie vibratoire —, il tend, par leur recherche systématique, à en faire le guide et le régulateur pallessthésique de sa propre émission.

Ce dernier point de vue pose des problèmes de physiologie nerveuse fort intéressants, mais que je ne puis aborder ici, à mon regret.

Les observations et expériences rapportées ci-dessous n'ont trait qu'au rôle réactionnel des cavités nasales exercé à l'encontre de la vibration des cordes vocales.

Expérience de Thooris.

89. Dans son livre : « Le Chant humain » (Amédée Legrand, Paris, 1927), livre qui est le recueil d'expériences et de travaux multiples effectués par son auteur, entre 1905 et 1926, THOORIS VAN BORRE relate en ces termes, page 189, une curieuse expérience, faite par lui, sur un ténor qui chante dans l'aigu extrême de sa tessiture.

« Je fais émettre au sujet le son *a* en *si*³. Je passe une sonde d'ITARD le long du plancher nasal et ne puis en faire pénétrer le bec dans le pharynx buccal derrière le voile. Si je force, le son baisse.

» Cette expérience extrêmement importante fait penser au rôle du naso-pharynx en tant que tuyau additionnel. *Le son baisse quand le tuyau s'allonge.* »

Cette observation est évidemment à rapprocher des faits qui font l'objet des Chapitres V et VI qui précèdent, et elle est justiciable de la même explication. Le son du larynx baisse parce qu'il est attiré par le partiel du pharynx qui s'aggrave brusquement, au moment où le rhino-pharynx est mis en communication

avec lui. Le son propre du pharynx guttural, qui est normalement voisin de *mi*³, tombe alors dans l'*octave*², et la réaction sur la vibration des cordes vocales s'intensifie.

Ce qui est intéressant dans cette expérience, c'est qu'elle se passe sans assourdisseur : *le son baisse malgré le contrôle de la hauteur tonale par le sujet.*

Il est vrai que le sujet est à l'extrême limite aiguë de sa tessiture, c'est-à-dire, dans une région où *l'entretien de la vibration par le stimulus récurrentiel devient difficile* (voir Deuxième partie). Et il est vrai aussi que la réaction du résonnateur est intense. L'expérience montre donc que, dans ces conditions particulières, la fréquence de la vibration des cordes vocales peut varier, malgré le contrôle auriculaire.

(Je n'ai malheureusement pas pu faire recommencer cette expérience sur moi-même, en raison d'une mauvaise tolérance des sondes d'ITARD, qui aurait modifié les conditions de l'observation).

Cas d'une tessiture de ténor limitée dans l'aigu par une fissure vélaire sous-muqueuse empêchant l'occlusion du rhino-pharynx.

90. J'ai été témoin, en 1932, aux côtés du Dr TARNEAUD, de l'observation intéressante suivante :

« M. C., ténor, 32 ans, sorti depuis quelques années du Conservatoire de Paris, se plaint d'avoir une voix limitée dans l'aigu. De fait, le *la*³ est la limite extrême à la fois de sa tessiture et de son étendue vocale en poitrine et en fausset. Au-dessus de cette note, les cordes vocales ne vibrent plus. Cette particularité l'empêche d'aborder presque tous les rôles du répertoire.

Son examen ne révèle au premier abord rien d'anormal. Les cordes vocales sont belles, nacrées ; leur vibration est ample. La respiration est bonne ; la capacité respiratoire de 2^l,8. Très-bonne santé générale. D'autre part, le sujet est bien un ténor, par le timbre, le larynx et la morphologie.

L'attention du Dr TARNEAUD ayant été éveillée par une certaine couleur un peu nasale de la voix, celui-ci examine son voile du palais. Dans l'aigu, il paraît court, ne se relève pas nettement et ne vient pas s'appuyer contre la paroi postérieure du pharynx. De ce fait, le sujet aborde l'aigu avec un pharynx guttural qui demeure en communication permanente avec le rhino-pharynx par une béance de deux ou trois millimètres au moins dans le sens antéro-postérieur.

Le sujet est adressé au Dr VEAU qui, par un examen radiographique, révèle l'existence, dans le voile du palais, d'une fissure sous-muqueuse. Celle-ci altère la fonction vélaire et empêche son relèvement complet. »

Il en résulte que, dans l'aigu, le sujet se trouve placé dans les conditions réalisées par l'expérience de THOORIS, précédemment décrite. Il ne peut dépasser une certaine fréquence de l'*octave*³, parce que son pharynx guttural, agrandi du rhino-pharynx, a un fondamental de l'*octave*² et exerce sur les cordes vocales une réaction trop forte pour être vaincue, à cette hauteur tonale, par les faibles quantités d'énergie mises en jeu par la stimulation récurrentielle.

Limites de nasalisation des sons dans l'aigu
(Docteurs J. & A. Glover, 1923).

91. Dans leur mémoire : « Physiologie de la Voix. Ses applications », couronné par l'Académie des sciences et par l'Académie de Médecine, et publié, en tête de la Deuxième partie de l'*Encyclopédie de la musique* (fasc. 13, Delagrave, Paris, 1923), les docteurs Jules & Henri GLOVER — dont le premier fut, pendant vingt-deux ans, médecin du Conservatoire National de Paris — avaient fait de nombreuses et minutieuses observations leur montrant qu'à partir d'une certaine hauteur tonale, un son *ne peut plus normalement être nasalisé*. Il faut entendre par là qu'à partir d'une certaine hauteur tonale, le voile du palais ne peut plus normalement s'abaisser pour laisser une communication, si faible soit-elle, entre le pharynx guttural et le pharynx nasal.

A partir de cette hauteur tonale, si le voile est contraint, pour une cause quelconque (technique ou pathologique), à s'abaisser, la fonction vibratoire du larynx est rendue plus difficile, s'altère, ou est arrêtée.

Je n'insiste pas sur ce fait, en lui-même, qui traduit la même réalité que celle mise en évidence par l'observation précédente (§ 90) et l'expérience de THOORIS (§ 89), et qui procède de la même explication.

Les limites de nasalisation établies par J. & H. GLOVER, pour les femmes seulement, sont voisines du *fa*⁴, avec des petites différences, selon les tessitures et les individus, qui dépendent, de toute évidence, du volume du rhino-pharynx. La nasalisation devient difficile, pour les femmes, *au-dessus du passage du mi*⁴.

Pour les hommes, le phénomène est identique. La nasalisation devient difficile, pour la même raison, *un peu au-dessus du passage du mi*³, avec de petites variations suivant les tessitures et suivant les sujets.

Cela ne veut pas dire, bien entendu, que les sensations internes ressenties dans le massif osseux et cartilagineux de la face cessent au-dessus de ce niveau tonal. *Bien au contraire, l'intensité de ces sensations croît en général dans l'aigu*; mais c'est parce qu'une part plus grande d'énergie vibratoire est reçue, par ce massif, par une conduction musculo-osseuse facilitée vers lui par la contraction accrue des muscles élévateurs du larynx.

On touche ici du doigt le contre-sens physiologique grave commis par de nombreux professionnels de la voix, et même par certains laryngologistes, qui, en vue de rechercher dans l'aigu certaines sensations internes localisées dans le massif osseux et cartilagineux du nez et de la face, enseignent qu'il faut pour cela *réaliser un certain abaissement du voile du palais et une communication rétro-vélaire permanente de l'oro- et du rhino-pharynx*.

De telles pratiques ont leur sanction immédiate par voie réactionnelle, au niveau du larynx, par une entrave plus ou moins importante apportée à la vibration des cordes vocales, selon le mécanisme explicité au cours du présent travail.

TROISIÈME CLASSE

OBSERVATIONS

RELATIVES AUX CONSÉQUENCES PHONATOIRES DE CERTAINS TROUBLES AUDITIFS

Observations du D^r René Moreaux (de Nancy, 1932).

92. Le retentissement phonatoire de troubles auditifs a été signalé depuis longtemps. Mais le D^r MOREAUX, de Nancy, en a observé quelques-uns qu'il a exposés, le 18 octobre 1932, devant la Société française de phoniatrie (Voir aussi *Revue franç. de phon.*, n° 2, avril 1933, pp. 91-98), dont l'intérêt provient de ce qu'ils réalisent des cas d'*assourdissement pathologique* à rapprocher, dans leurs répercussions vocales, des résultats des expériences faites avec assourdissement expérimental (chap. VI).

Je résume, ci-dessous, 3 cas rapportés par lui :

Premier cas : Enfant de 12 ans, signalé par son instituteur parce qu'il déraillait par moment dans le chant. Sur certaines notes en effet, invariables, l'enfant montait d'un demi-ton. L'étude du champ auditif tonal bilatéral a montré que l'enfant était sourd des deux oreilles, presque complètement, sur les deux tons qu'il falsifiait en chantant.

Le traitement n'a pas modifié la surdité, mais des exercices vocaux et un dressage de l'attention auditive de l'enfant lui ont permis peu à peu de chanter juste, même sur son trou auditif.

Deuxième cas : Artiste lyrique de 35 ans environ. Trou auditif portant sur *mi bémol*², *mi*² et *fa*³, apparu brusquement au cours d'accidents de syphilis tertiaire. Sur ces notes, la voix montait au cours du chant.

Le traitement médical fit disparaître la cause, et la rééducation auditive instrumentale réveilla l'audition. Le travail vocal normal put être repris.

Troisième cas : Chanteur de grand talent. Atteint, dès l'âge de 45 ans, de cophose causée par des lésions scléreuses à évolution rapide. Chante encore à 55 ans avec une parfaite justesse, grâce à une mémoire auditive particulièrement développée et cultivée.

Je terminerai en citant une conclusion particulièrement intéressante de l'auteur des observations ci-dessus : « La mémoire auditive, surtout si elle est bien développée par les études antérieures et servie par un centre auditif musical, comme c'est le cas chez les compositeurs et les artistes lyriques, en particulier, peut suppléer entièrement à la fonction auditive annihilée. »

DEUXIÈME PARTIE

PHYSIOLOGIE DE LA VIBRATION
DES CORDES VOCALES

DEUXIÈME PARTIE

PHYSIOLOGIE DE LA VIBRATION DES CORDES VOCALES

CHAPITRE VIII

LA THÉORIE MYOÉLASTIQUE CLASSIQUE, SES INSUFFISANCES ET SES INCOMPATIBILITÉS

93. Puisque, chez l'Homme, aucun organe n'est spécialement phonateur, on se trouve contraint d'expliquer la phonation à l'aide des *lois générales* de la physique et de la mécanique et des *propriétés générales* des tissus musculaires et nerveux. C'est donc dans les lois générales de la mécanique, de l'acoustique et de la physiologie neuro-musculaire que doit être cherchée, et que fut toujours cherchée, l'explication des phénomènes phonatoires.

Au temps où la physiologie des muscles et des nerfs était à peu près inconnue ou fort mal connue, soit jusque vers 1870, on n'élabora, pour la phonation, que des théories *mécaniques*.

La publication des premiers travaux sérieux de physiologie musculaire fit naître des théories phonatoires de caractère *mécanico-physiologique*, sur lesquelles nous vivons encore présentement.

Cependant, dès 1907, les travaux de M^{me} et M. Louis LAPICQUE ont réalisé, en physiologie nerveuse, une véritable révolution copernicienne qui, continuée par l'œuvre de leurs élèves dans tous les pays, devait tôt ou tard conduire à un réajustement de nos idées sur la phonation en fonction de l'amélioration de nos connaissances, notamment en ce qui concerne l'*activité nerveuse rythmique*. Le présent travail, au fond, n'est qu'une première tentative de ce genre, et plus spécialement sa Deuxième partie.

On assiste donc, depuis plusieurs siècles, en ce qui concerne la phonation, à un perfectionnement progressif des systèmes explicatifs proposés en fonction

du progrès général des sciences intéressées. Cette démarche de l'esprit n'est pas pour surprendre : on la retrouve identiquement dans tous les domaines des sciences expérimentales, et surtout en ce qui concerne l'audition.

Une brève revue des théories phonatoires anciennes va mettre ce perfectionnement en évidence.

Les théories périphériques anciennes.

94. Jusqu'à LONGET (1860) inclus, — et même jusqu'à LERMOYEZ (1886) —, on considère que les cordes vocales sont des *anches membraneuses libres*, que le courant d'air fait vibrer. Le système musculaire crico-thyroaryténoïdien n'a pour but que de les disposer au travers de la trachée et de leur assurer une tension convenable. Aussi, lorsque MULLER (1839) tente d'expérimenter sur les larynx artificiels, les constitue-t-il en disposant, sur un tube de soufflerie, deux languettes de caoutchouc tendues par des poids variables. Quarante-sept années plus tard, LERMOYEZ fera de même en se servant de préparations anatomiques tirées de larynx de cadavres.

Certes, on obtient ainsi des vibrations ; mais il faut réaliser des tensions longitudinales énormes et des dépenses d'air considérables. De plus, les vibrations obtenues s'effectuent dans le sens du courant d'air. Or, une expérience déjà ancienne de LISKOVIUS (1814), souvent répétée, montre que, pendant la phonation, on peut appuyer une tige porte-coton sur les cordes

vocales sans en altérer la vibration, ce qui est difficilement conciliable avec un tel mode vibratoire.

Aussi, dès 1870, une nouvelle théorie apparaît-elle sous la plume vigoureuse de GUILLEMIN, professeur de physique à Alger. Reprenant certaines idées de SAVART et des observations un peu confuses du religieux belge LOOTENS faites sur les circulations dans les tuyaux d'orgue, GUILLEMIN affirme que les cordes vocales ne vibrent nullement, et que les variations périodiques de pression de l'air réalisées au niveau de la glotte proviennent de courants tourbillonnaires nés dans le ventricule de MORGAGNI, dont le volume réglerait la hauteur du son.

Ces théories *aérodynamiques* ont une fortune rapide, mais de courte durée. Dès 1911, de bonnes observations stroboscopiques, faites en Allemagne par une légion de chercheurs, dont MUSEHOLD, établissent que les cordes vocales vibrent incontestablement, mais dans un plan horizontal, c'est-à-dire suivant un mode très-différent de celui des anches membraneuses.

Vers 1910, quelques auteurs français — dont le Dr Pierre BONNIER, alors laryngologiste du Conservatoire de Paris — tentent encore de concilier la vibration des cordes vocales avec un reste de théorie aérodynamique, en édifiant un *jeu glotto-ventriculaire* purement hypothétique. Mais ce fut en Allemagne, avec EWALD (1898) et WETHLO (1910), que des conceptions vraiment nouvelles vont apparaître.

EWALD, alors professeur à la Faculté de médecine de Strasbourg, construit un modèle d'*anches à bourrelets* (Polsterpfeifen) qui vibrent rigoureusement dans leur plan horizontal, comme les cordes vocales, modèle que WETHLO perfectionne dix ans plus tard. De plus, physiologiste ingénieux, EWALD donne, de la vibration des cordes vocales, une théorie *physiologique pure*, hardie, en admettant que la corde, écartée par le courant d'air, est ramenée en position médiane par une *excitation myotatique proprioceptive locale*, ou réflexe court, qui naît de sa propre déformation.

Si le modèle d'anches à bourrelets est gardé, la théorie myotatique proprioceptive ne survit pas, car presque tous les physiologistes lui dénie le pouvoir de donner naissance à des vibrations dépassant une vingtaine à la seconde.

On arrive ainsi à l'explication *myoélastique*, encore actuellement admise, différente de celle d'EWALD, mais aussi fragile, que je vais successivement exposer et critiquer.

La théorie myoélastique actuelle.

95. J'en ai donné, en 1932, avec TARNEAUD, dans la *Revue de laryngologie* (53^e année, n° 8), un exposé que je résume par ses idées essentielles.

Dans cette théorie, un petit élément plan de la

surface sous-glottique des cordes vocales est soumis en première approximation aux forces suivantes :

1° D'abord à la pression sous-glottique, qui s'exerce perpendiculairement à lui.

2° Puis à des tensions sur ses bords, qui s'exercent dans son plan au repos, mais admettent une résultante oblique à ce plan lorsque la corde se déforme.

3° A une force élastique née de la contraction du muscle et de sa déformation, et qui est opposée à la pression sous-glottique.

L'étude d'un tel système de forces permet d'expliquer la naissance et l'entretien d'une vibration. Les cordes vocales accolées l'une à l'autre, donc en position initiale d'occlusion dite « attitude de phonation », sont en état de contraction sous l'action de l'influx nerveux ou d'une stimulation tonique suffisante et, par cette contraction, assurent la fermeture de la glotte en opposant quelque résistance à la pression sous-glottique. Lorsque cette dernière croît sous l'action des forces expiratrices, les cordes vocales finissent par être écartées, laissent passer un jet d'air, et reviennent en position d'accolement en vertu des forces nées de leur déformation et dues à l'élasticité propre au tissu musculaire contracté. Ainsi leur vibration est un phénomène d'ordre élastique purement périphérique, donc limité à des actions glottiques, l'influx nerveux n'intervenant, dans cette action, que pour assurer aux cordes vocales un certain degré de contraction en rapport avec la hauteur du son. Mais, lorsque ce degré de contraction est assuré, la vibration se poursuit en vertu d'un automatisme élastique soustrait à l'action de la volonté et entretenu au niveau de la glotte par la pression sous-glottique.

Cette thèse explique parfaitement la vibration des cordes vocales sur le modèle des anches élastiques à bourrelet, dont EWALD et WETHLO ont pu construire de nombreux modèles mécaniques.

Non-seulement de tels modèles mécaniques vibrent, en présentant un mode vibratoire qui s'effectue dans le plan horizontal comme celui des cordes vocales, mais de tels modèles ont été réalisés à l'aide de tubes de soufflerie sur lesquels étaient greffées des préparations anatomiques tirées de larynx de veaux, ou de larynx humains (notamment par TRENDLENBURG & WULLSTEIN : « Untersuchungen über die Stimmbandschwingungen », *Sitzungsb. der preuss. Akad. der Wissensch. Phys. Math. Klasse*, 1935, XXI).

Mais le problème qui se pose alors est de savoir si, *in vivo*, les cordes vocales vibrent effectivement suivant ce mécanisme, c'est-à-dire de savoir si un tel mécanisme est compatible avec tous les faits connus relatifs aux modes vibratoires normaux et pathologiques des cordes vocales, tels que nous les avons rassemblés et décrits dans la Première partie de ce travail.

Les insuffisances et les incompatibilités de la théorie myoélastique actuelle.

96. 1° Les difficultés commencent dès que l'on veut, dans cette théorie, expliquer la possibilité d'émettre un son filé, c'est-à-dire un son passant du *piano* au *forte* et réciproquement, en faisant successivement croître et décroître la pression sous-glottique. Si l'on invoque un accroissement et une décroissance concomitantes de la contraction interne de la corde vocale conformes à l'observation, le son émis doit monter puis descendre. NADOLECZNY admettait même que la contraction du thyro-aryténoïdien interne devait varier en sens contraire de la pression sous-glottique ! D'autre part, si cette contraction ne varie pas, l'amplitude de la vibration, faible dans le *piano*, doit croître dans le *forte* : or l'observation directe montre le contraire (Obs. 1 et 2) en voix de poitrine.

2° Mêmes difficultés pour expliquer que l'on peut chanter *piano* dans l'aigu, c'est-à-dire avec une pression sous-glottique relativement faible. L'observation montre que la contraction du sphincter glottique est considérable dans l'aigu. Une telle contraction nécessite, dans la théorie myoélastique, une pression sous-glottique proportionnée pour mouvoir les cordes vocales. Alors, comment peut-on chanter *piano* dans l'aigu, comme le réalisent tous les chanteurs exercés ?

3° Difficultés de même nature pour expliquer comment un larynx peut émettre, en voix de poitrine, des sons de hauteurs différentes portant facilement sur deux octaves. La théorie myoélastique admet une « contraction progressive » des thyro-aryténoïdiens internes. Mais que faut-il entendre par là, physiologiquement parlant ? S'il s'agit du muscle dans sa totalité, la conciliation de ce fait avec la loi du « tout ou rien » risque d'offrir des difficultés. Si c'est le nombre des fibres intéressées par cette contraction qui croît du grave à l'aigu, on peut penser qu'une variabilité aussi rigoureusement échelonnée du grave à l'aigu cadre mal avec les conditions anatomiques connues de l'innervation de ce muscle.

Et enfin, en supposant cette difficulté vaincue, comment expliquer que le chanteur puisse réaliser couramment une attaque de son à une hauteur voulue avec une précision aussi constante ? Lorsqu'il désire attaquer un *ré*³, par exemple, l'erreur tonale ne dépasse jamais 3 ou 4 vibrations en général, ce qui, dans la théorie myoélastique, supposerait la réalisation volontaire immédiate de contractions du thyro-aryténoïdien interne extraordinairement nuancées en intensité. Et pourquoi une telle réalisation, à supposer qu'elle soit possible, serait-elle sous la dépendance de la mémoire auditive du sujet (§ 92) ?

4° L'observation montre que, en voix de fausset, le thyro-aryténoïdien interne n'est pas contracté, ou

que, s'il l'est, il ne saurait l'être que très-faiblement ou partiellement. Dans la théorie myoélastique, les sons émis dans ces conditions devraient être très-graves, beaucoup plus graves qu'en voix de poitrine. L'expérience montre le contraire.

5° Dans le même ordre d'idées, l'observation médicale courante montre que toute hypotonie, même forte, du thyro-aryténoïdien interne, — et j'ai indiqué qu'il fallait voir sous cette terminologie un *affaiblissement de la contractilité volontaire* (§§ 72 et 73) —, s'accompagne d'une altération du timbre de la voix, mais pas de la hauteur. Pourquoi la hauteur du son ne baisse-t-elle pas dans de tels troubles ?

6° J'ai montré que, pendant la phonation, le résonateur pharyngo-buccal exerce une réaction considérable sur la vibration des cordes vocales. L'observation stroboscopique directe la montre déjà (§§ 24 à 28), et des expériences diverses l'accusent (§§ 82, 83 et 88 à 94). TARNEAUD a même montré qu'elle pouvait être génératrice de troubles de motilité des cordes vocales, bien appréciables au laryngo-stroboscope.

Or, par les travaux de TREDELENBOURG & WULLSTEIN, d'une remarquable qualité expérimentale, on voit que la réaction d'un résonateur sur des modèles mécaniques d'anches à bourrelets fonctionnant rigoureusement selon le schéma de la théorie myo-élastique du larynx, était nulle.

Comme les expériences de TREDELENBOURG & WULLSTEIN sont inattaquables du point de vue de la garantie scientifique, on est forcé de conclure que les cordes vocales, sur l'être vivant, obéissent à une *dynamique d'une nature différente* de celle des larynx artificiels de TREDELENBOURG & WULLSTEIN, même constitués avec des préparations anatomiques tirées de larynx humains ou de veaux.

7° La théorie myoélastique a besoin, pour expliquer la *mise en vibration* des cordes vocales, d'une occlusion préalable de la glotte destinée à permettre une élévation suffisante de la pression sous-glottique. Or l'observation normale montre que les cordes vocales peuvent se mettre à vibrer sans qu'elles soient en position médiane d'accolement (§ 41), et l'observation des parésies de l'aryténoïdien le montre également.

8° Les expériences que j'ai réalisées avec le D^r GARDE (§§ 64 à 68) ont montré qu'une cocaïnisation poussée du thyro-aryténoïdien interne et du vestibule laryngé ne supprime pas la production vocale : si le timbre est très-altéré et l'émission des sons ouverts rendue difficile, les cordes vibrent toujours sur toute l'étendue du clavier vocal à la hauteur désirée par le sujet, ce qui prouve que le mécanisme intime de leur mise en vibration n'est pas encore sensiblement atteint.

Ce fait est incompatible avec la théorie myoélastique classique ; car, dans son schéma explicatif, une

cocaïnisation aussi poussée du thyro-aryténoïdien interne rendrait la vibration impossible au moins dans le grave, et possible seulement éventuellement dans l'aigu sous un excès de stimulation nerveuse. Or rien de tel n'apparaît, et c'est plutôt l'émission des sons aigus qui est rendue plus difficile et qui est reculée en dernier, encore qu'elle reste toujours possible.

9° Comment expliquer, dans la théorie myoélastique, que la hauteur du son se modifie sous l'assourdisseur, et surtout que l'attention et la mémoire auditives puissent empêcher cette modification en l'absence de tout contrôle sensoriel auriculaire?

10° Comment expliquer, dans la théorie myoélastique, qu'une corde vocale puisse être immobile pendant la phonation, et en position médiane, sans aucune modification de son aspect extérieur, tandis que sa congénère vibre normalement (§ 70)? Et comment expliquer que la vibration des deux cordes puisse être supprimée alors que, d'autre part, celles-ci se contractent normalement et viennent s'accoler en position d'adduction phonatoire normale?

11° Comment expliquer, dans la théorie myoélastique, que les cordes vocales puissent vibrer avec une différence de phase de l'ordre d'une demi-période (vibrations alternées d'OERTEL et de WEISS, § 49)?

Dans ce mode vibratoire, la corde vocale gauche s'écarte de la ligne glottique médiane, tandis que la droite s'en rapproche et, inversement, la corde droite s'en écarte lorsque la corde gauche s'en rapproche. Ce mode vibratoire est totalement inexplicable à l'aide de la thèse classique de la vibration des cordes vocales par un conflit d'ordre élastique au niveau de la glotte. Dans la thèse classique, en effet, on ne comprend nullement comment une corde vocale pourrait s'écarter de la ligne glottique médiane sous l'influence de la pression sous-glottique, alors que l'autre s'en rapprocherait.

Premières conclusions.

97. 1° Les insuffisances et les incompatibilités énoncées ci-dessus mettent bien en évidence la raison profonde qui conduit à rejeter la théorie myoélastique classique au même titre que les théories périphériques anciennes. C'est que, en définitive, toutes ces théories *sous-estiment le rôle des phénomènes nerveux, et tout particulièrement des centres cérébraux, dans la genèse de la vibration des cordes vocales.*

A la lumière des troubles de la vibration observés chez les sujets porteurs de lésions centrales (§§ 63 à 73, et § 87), il apparaît bien qu'une théorie de la phonation doit accorder à ces phénomènes la place privilégiée qui leur est due, ce qui conduit à rechercher l'explication de la vibration des cordes vocales dans les faits fondamentaux de la *physiologie nerveuse pure*, et notamment de l'*activité nerveuse rythmique* qui en est la manifestation la plus générale.

2° En second lieu, une théorie de la vibration des cordes vocales doit être *indépendante de la physiologie de l'occlusion glottique*. J'ai montré en effet que, dans des conditions normales, il pouvait y avoir vibration des cordes vocales sans occlusion glottique et, inversement, occlusion glottique avec élévation concomitante de la pression intra-trachéale sans pour cela voir se déclencher la vibration des cordes vocales. Au surplus, la maladie réalise parfois la dissociation de ces deux actes, en permettant d'observer, soit des paralysies de l'adduction sans altération de la vibration des cordes, soit des paralysies de la vibration sans troubles de l'adduction. *Occlusion de la glotte et vibration des cordes vocales sont donc deux actes physiologiques distincts et indépendants*, qu'une théorie de la phonation ne doit point associer en faisant du premier une condition de la réalisation du second.

LES ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX D'UNE THÉORIE NEURO-CHRONAXIQUE

98. Je vais maintenant montrer comment la vibration des cordes vocales, tant dans la parole que dans le chant, c'est-à-dire tant en l'absence d'une fréquence voulue par le sujet que dans l'hypothèse d'une hauteur tonale désirée et contrôlée par l'oreille, peut être expliquée en partant des propriétés générales de l'activité nerveuse rythmique, d'une part, et d'autre part en utilisant la structure anatomique fine des cordes vocales dont certaines particularités, connues depuis plus d'un demi-siècle cependant, n'avaient jamais pu recevoir jusqu'à présent de rôle bien défini et raisonnable.

Je rappellerai successivement, dans l'ordre :

le caractère général rythmique de l'activité nerveuse ;
le caractère rythmique de la stimulation récurrentielle ;

certaines particularités anatomiques des cordes vocales.

J'exposerai ensuite :

Le mécanisme de la phase d'écartement de la corde vocale pendant sa vibration ;

le mécanisme de son rappel vers la ligne médiane pendant sa vibration ;

le mécanisme du changement de la hauteur tonale d'émission et de la fixation des fréquences limites de sa vibration pour un sujet donné.

Ces principes étant posés, je montrerai, dans le chapitre X qui suivra, comment le son du larynx, son issu de la vibration des cordes vocales, *est conditionné en hauteur, en intensité et en timbre*, et comment peuvent être expliqués les résultats expérimentaux très-divers exposés dans la Première partie de ce travail.

Sur le caractère général rythmique de l'activité nerveuse.

99. Les travaux entrepris depuis un quart de siècle, en Angleterre par ADRIAN et son école, en France par A.-M. MONNIER et FESSARD, travaux qui sont la suite logique de ceux de M^{me} & M. Louis LAPICQUE introduisant la notion de temps en physiologie nerveuse, ont montré que l'influx nerveux circule le long

des nerfs sous la forme de trains d'oscillations dont les fréquences peuvent atteindre, et même dépasser, chez l'Homme, un millier par seconde. La cellule nerveuse apparaît ainsi comme une sorte de transformateur, assurant la transformation de l'énergie chimique qui lui est fournie selon un processus continu par la nutrition, en une énergie nerveuse se propageant selon un processus périodique le long des rameaux nerveux.

L'extrême généralité de ces phénomènes rythmiques, qui sont à la base de nos sensations, de nos mouvements et de notre activité mentale, ne saurait plus être niée ou ignorée. Quelle que soit leur origine, on leur retrouve un certain nombre de caractères communs parmi lesquels sont particulièrement à retenir :

1° L'indépendance de l'amplitude atteinte et du stimulus ;

2° L'accroissement de la fréquence en fonction de l'intensité de l'excitation ;

3° Le ralentissement progressif de la fréquence dans le temps, à excitation constante.

Cette rythmicité caractérise aussi bien la *pulsation des organes sensoriels*, comme l'ont montré les travaux déjà connus de MATTHEWS, de FESSARD, de CATTELL & HOAGLAND, de WEVER & BRAY sur l'oreille, etc., que l'*activité propre des centres*. La nature rythmique des *décharges motrices* avait déjà été entrevue par SHERINGTON, en 1921, avant que l'enregistrement direct des courants d'action ne l'ait montrée, et elle a pu être étendue à la *commande motrice volontaire* elle-même, par FESSARD & LAUGIER. Au surplus, l'étude comparée des décharges motrices et des décharges sensorielles a révélé entre elles de telles analogies que l'identité de leurs natures n'a pas été longtemps mise en doute.

Cette rythmicité a également été retrouvée dans le fonctionnement des terminaisons ultimes des voies nerveuses centrifuges, c'est-à-dire des *terminaisons effectrices* répandues dans les organes d'exécution (muscles, vaisseaux, glandes, etc.). Elle explique la tendance bien connue d'un muscle à fibriller, tendance

qui est *fonctionnellement exploitée* dans le larynx de l'Homme, comme je le montrerai. Elle se retrouve aussi dans le fonctionnement des nerfs eux-mêmes, dont la réponse à une seule excitation est souvent une série d'influx, parfois de fréquences élevées.

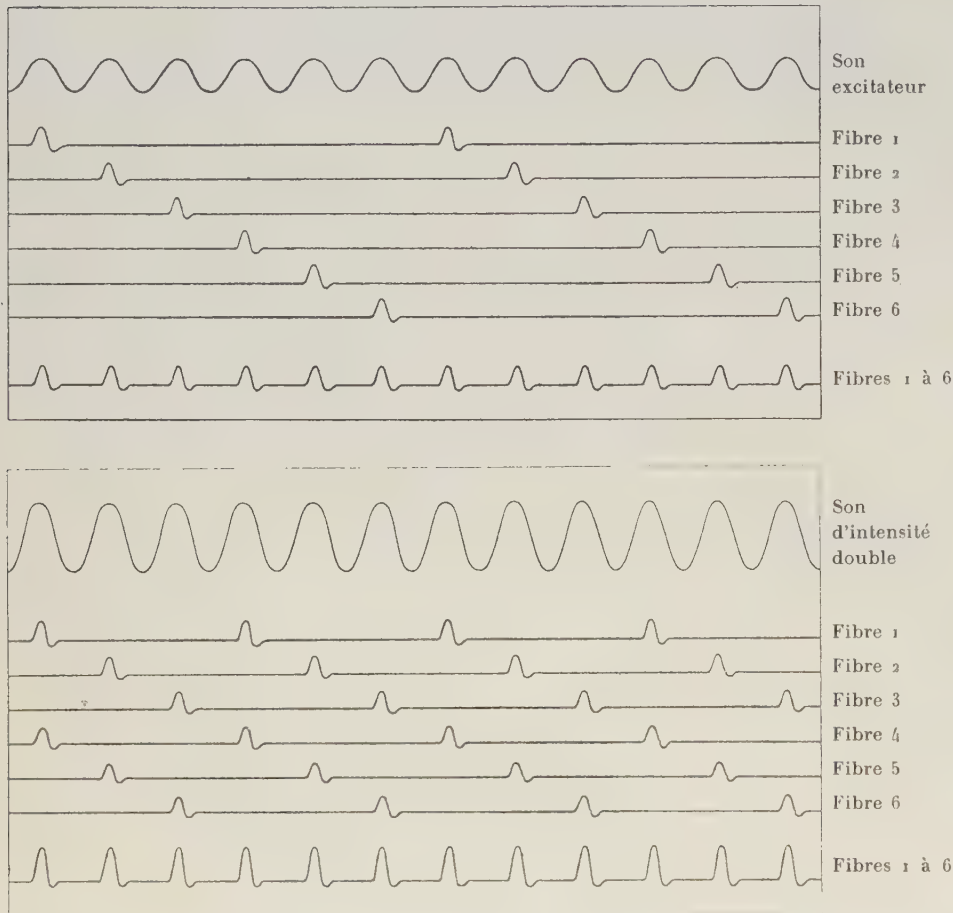


Fig. 33. — CONDUCTION THÉORIQUE D'UN SON PAR UN ENSEMBLE DE 6 FIBRES EXCITÉES À TOUR DE RÔLE, CHACUNE TOUTES LES SIX PÉRIODES ET, POUR LA TRANSMISSION D'UNE STIMULATION D'INTENSITÉ DOUBLE, CHACUNE TOUTES LES TROIS PÉRIODES. (D'après WEYER, *Theory of Hearing*, p. 173.)

En fait, elle est si générale qu'elle paraît traduire une *propriété du neurone*.

Il convient enfin d'ajouter que l'étude de ces phénomènes nerveux rythmiques, lorsqu'ils sont associés en nombre suffisant, permet de mettre en évidence presque tous les phénomènes connus auxquels l'étude de l'électricité nous a habitué : synchronisation, démultiplication des fréquences, hystérésis de fréquences, polyphasages, etc. Ces phénomènes permettent d'expliquer pourquoi des activités rythmiques confuses paraissent parfois se grouper, s'organiser, s'unifier, sous certaines influences directrices, et il me sera notamment impossible de ne point invoquer des faits de cette nature lorsque, sous l'influence d'une représentation tonale désirée qui fait passer un *son parlé* à un *son chanté*, on voit les fréquences désordonnées de la parole se fixer quasi instantanément sur la fréquence voulue.

Sur le caractère rythmique de la stimulation récurrentielle.

100. J'ai rappelé plus haut (§ 85) les expériences de LINDEMANN (1930), pratiquées sur le Chien et ayant montré que, lorsque celui-ci donnait de la voix à son réveil, le récurrent était sillonné d'influx *centrifuges* homorythmiques à la vibration des cordes vocales.

Le caractère centrifuge en a été bien démontré : après section d'un récurrent, le bout central les présente encore, tandis que le segment périphérique ne les présente plus. Leur période variait de 350 à 1800 oscillations par seconde.

En ce qui concerne la voix humaine, un phénomène de même nature mettrait en jeu des fréquences variant de 64 vibrations doubles (*ut*¹ ou *contre-ut* des basses), et même parfois moins, jusque 2048 vibrations doubles (*ut*⁶ atteint par certaines voix féminines suraiguës, dites « de sifflet »).

Si la possibilité d'une conduction d'ondes de fréquences aussi élevées était mise en doute, je ferais remarquer qu'elle a été effectivement observée dans le nerf acoustique, et je rappellerai en outre, par la figure 33 ci-contre, le schéma ingénieux par lequel WEYER l'explique en invoquant la stimulation « tournante » des

différents neurones du nerf, chacun des neurones ne transmettant que des excitations séparées par la durée de la phase réfractaire qui lui est propre ou par une durée plus grande.

Sur certaines particularités anatomiques des cordes vocales.

101. Les traités habituels d'anatomie ne décrivent en général, à l'intérieur des thyro-aryténoïdiens internes, que l'existence de fibres musculaires longitudinales, c'est-à-dire à peu près parallèles au bord libre des cordes vocales et reliant la plissure antérieure du cartilage thyroïde au bord inférieur externe et à l'apophyse vocale de chaque aryténoïde. Cette description schématique de la structure interne du muscle vocal est cependant gravement incomplète. Tous les travaux d'anatomie microscopique effectués sur les

cordes vocales, depuis 1850 environ, — et ils sont nombreux! —, ont révélé l'existence, à l'intérieur du thyro-aryténoïdien interne, de *fibrilles musculaires à peu près perpendiculaires aux premières et venant s'insérer sur le bord libre des cordes vocales ainsi que sur la partie du conus elasticus qui tapisse la partie sous-glottique des cordes vocales venant en contact pendant la vibration.*

Ces fibrilles transversales, extrêmement fines et nombreuses, ont à l'intérieur du muscle vocal des directions assez variables, et forment avec les fibres longitudinales une sorte de trame qui particularise de façon typique l'anatomie du thyro-aryténoïdien.

C. LUDWIG (*Lehrb. der Physiol.*, 1858, p. 570) les a signalées, et les décrit comme se terminant en biais dans la substance élastique marginale des cordes vocales, substance élastique marginale dont il fait un véritable *tendon*.

A. RUHLMANN (cité par JACOBSON : « Zur Lehre vom Bau u. Funktion der musc. thyr.-aryt. infer. », *Archiv f. mikrosk. Anat.*, 1887, Band 29) a constaté sur des coupes microscopiques l'existence d'insertions musculaires sur le bord libre des cordes vocales.

Les mêmes remarques ont été faites par HENLE (cité par LUDWIG).

GRÜTZNER (*Physiol. d. Stimme u. Sprache*, p. 54) indique également qu'il existe dans le muscle vocal un système de fibres en biais qui, à partir des apophyses vocales, montent par derrière, en bas et de l'extérieur, en se dirigeant vers le devant, le haut et l'intérieur, les postérieures de manière très-abrupte, les antérieures de manière moins abrupte, se terminent aussi bien sur le bord libre de la corde vocale que sur sa surface médiane, et se terminent également parfois à l'intérieur même du muscle thyro-aryténoïdien interne. Le muscle vocal, d'après ce vieil anatomiste, se distinguerait des autres muscles du corps humain par le fait qu'un grand nombre de fibres musculaires naissent et se terminent dans sa substance même, et GRÜTZNER ajoute (d'après MUSEHOLD) : « ce par quoi il est d'une part susceptible de multiples modifications de forme, et d'autre part capable, par le fait que ses fibres sont orientées dans toutes les directions de l'espace, d'être tendu en longueur, en largeur et en épaisseur ».

De même A. JACOBSON a trouvé, dans ses recherches microscopiques sur la structure du muscle vocal, que, dans les coupes longitudinales horizontales des thyro-aryténoïdiens internes, de nombreux faisceaux musculaires commencent à l'apophyse vocale et à la surface externe de l'aryténoïde, s'infléchissent en dedans vers le bord libre, et se terminent obliquement dans le tissu élastique de celui-ci, telles les dents d'un peigne. Sur les coupes transversales, il a trouvé des fibres musculaires qui s'étendaient jusqu'au bord de la lèvre

vocale en venant s'y insérer sous un angle presque droit. D'une façon générale, il a trouvé que c'était la partie inférieure des cordes vocales (immédiatement sur leur bord libre) qui était la plus riche en faisceaux obliques et transversaux venant s'insérer sur le bord et à la surface sous-glottique de la corde vocale.

Les recherches plus récentes de FRIEDRICH sur l'histologie des cordes vocales, ainsi que celles de REINKE et de LEWIS, ont pleinement confirmé ces descriptions ; et REINKE a noté que les fibres longitudinales, c'est-à-dire destinées à s'opposer à la pression expiratrice, étaient épaisses et fortes, tandis que les fibrilles perpendiculaires ou obliques aux premières étaient si fines qu'elles échappaient presque aux yeux. Les mêmes remarques ont été faites, en 1933, par SUNDERPLASSMANN, dans ses recherches d'histologie fine sur l'innervation de la corde vocale.

Je retiendrai, de ces faits :

1° qu'il existe à l'intérieur du thyro-aryténoïdien interne un système complexe de fibrilles musculaires venant s'insérer sur le bord libre et sur la partie sous-glottique arrivant en contact avec sa congénère dans la phase de fermeture, et se dirigeant, vers l'intérieur du muscle, obliquement ou même perpendiculairement à la fente glottique.

Lorsque ces fibrilles se contractent, la glotte étant fermée, elles tendent à écarter le bord libre de la corde vocale et sa surface immédiatement inférieure, sans modifier en rien l'action sphinctérienne générale d'adduction et d'occlusion ; c'est-à-dire qu'elles tendent à donner à chaque corde vocale une forme analogue à celle que la vue stroboscopique leur révèle au cours même de leur vibration dans leur phase d'écartement.

2° que ces fibrilles ont en général des dimensions, et surtout un diamètre extrêmement petit.

De ce fait, on peut conclure qu'elles ont des chronaxies extrêmement petites.

102. J'ajouterai encore, sur cette question si importante de la structure anatomique du muscle thyro-aryténoïdien, les deux observations suivantes :

1° La première, d'EWALD (*Physiol. des Kehlkopfes*, p. 204 ; *Handbuch der Laryngol. u. Rhinol.*, de HEYMANN, 1^{er} B., 1898) relative au thyro-aryténoïdien externe : « La distinction anatomique en un muscle thyro-aryténoïdien interne et externe ne se laisse pas opérer physiologiquement. Partout la masse principale des fibres qui se dirigent surtout dans un sens sagittal sont croisées par des fibres très-nombreuses orientées dans de toutes autres directions. »

La structure particulière décrite ci-dessus s'étend donc aux masses musculaires plus profondes constituant l'ensemble des filets, très-nombreux, du thyro-aryténoïdien, et notamment du thyro-aryténoïdien

externe, dont l'entrée en action n'est d'ailleurs pas douteuse en certaines régions de la tessiture (notes de poitrine ouvertes notamment).

2° La seconde, de ZUCKERKANDL (*Anatomie des Kehlköpfes*, p. 90; *Handb.*, *ibid.*), relative à la densité des fibres longitudinales du thyro-aryténoïdien interne au voisinage de leur insertion antérieure ou thyroïdienne : « On observe, en outre, que la moitié antérieure du thyro-aryténoïdien apparaît très-fréquemment comme n'étant pas très-serrée, puisqu'elle est composée de faisceaux distants séparés par des tissus adipeux et glandulaires. »

J'en rapprocherai le fait à peu près général que, lorsque la partie vibrante de la corde vocale se réduit (§ 53), c'est la partie *antérieure* du thyro-aryténoïdien interne qui continue à vibrer.

Sur la phase d'écartement des cordes vocales pendant leur vibration.

103. J'admets que, lorsque la stimulation récurrentielle rythmique de hauteur N atteint le thyro-aryténoïdien interne en position d'adduction, dans les conditions normales, les fibrilles musculaires transversales se contractent, et tirent vers l'extérieur à la fois le bord libre de chaque corde vocale et la partie de la surface sous-glottique qui est en contact occlusif.

Sous cette action, la phase d'ouverture *doit au moins s'amorcer*, et l'air qui pénètre sous pression dans cette fente ajoute *sa propre pression* pour achever la phase d'ouverture de la glotte et porter chaque corde à son *elongation maximum*.

104. Si l'on objecte qu'une fibrille musculaire ne peut se contracter et se décontracter un nombre de fois par seconde suffisamment élevé pour expliquer l'émission de tous les sons (435 fois par seconde pour un *la*³; 2018 fois pour un *ut*⁶), je répondrai que trois explications peuvent être invoquées, séparément ou simultanément :

1° Les fibrilles transversales peuvent être *tétanisées* (en fait elles le sont à chaque contraction), et il suffit d'invoquer un *tétanos ondulé* pour expliquer la naissance de chaque phase vibratoire d'écartement.

2° Étant donné leur extrême petitesse (§ 101), leur chronaxie est certainement très-petite, et cette circonstance *recule la limite d'apparition du tétanos aplati*.

3° Enfin on peut admettre qu'elles ne se contractent pas toutes en même temps, mais *par roulement*, par exemple si chacune d'elle est innervée par un neurone du récurrent et si ce nerf fonctionne suivant le schéma de WEVER (§ 100, fig. 33).

Sur le rappel de chaque corde vocale vers la ligne médiane pendant la vibration.

105. Si la contraction rythmique des fibrilles transversales explique la phase vibratoire d'écartement, — amplifiée par la pression sous-glottique —, leur décontraction n'explique pas leur phase de retour au contact. Celle-ci exige une *force de rappel*.

Cette force de rappel est double :

1° Il y a d'abord la *tension* propre de chaque fibre longitudinale, assimilée, par exemple, à un fil tendu et dont une composante est constamment opposée à la pression sous-glottique.

2° Il y a, en second lieu, l'*élasticité* propre du thyro-aryténoïdien interne, lorsqu'il est contracté (voix de poitrine), et qui croît avec son degré de contraction.

La durée de cette phase de retour vers la ligne médiane est intéressante à connaître et à discuter. On peut en obtenir une *estimation* très-approximative, permettant de voir *comment elle varie en gros*, en assimilant la corde vocale, pendant la fraction de vibration qui voit son retour vers sa congénère, à un oscillateur fortement amorti qui revient vers sa position d'équilibre sous l'action des forces ci-dessus : tension T, coefficient élastique E, et pression sous-glottique P.

On peut admettre que la force de rappel due à la tension T et à l'élasticité E est proportionnelle à l'élongation de la corde. L'action de la pression P est plus difficile à interpréter. La théorie de l'anche libre couplée à un tuyau fait intervenir P au titre d'un *amortissement négatif*. Mais cet amortissement négatif n'existe plus lorsque les deux cordes sont en contact, sauf si l'occlusion parfaite n'est pas réalisée.

Avec ces hypothèses, pendant sa brève phase de retour, la corde vocale peut être assimilée très-approximativement à un oscillateur amorti dont la fréquence serait de la forme :

$$n = \sqrt{\frac{aE + bT}{m} - \frac{(f - cP)^2}{m^2}};$$

où *f* est l'amortissement de la corde vocale; où *a*, *b* et *c* sont des constantes positives; et où *m* est une inertie (en gros proportionnelle à la masse de la partie vibrante de la corde vocale).

La durée de la phase de retour varie comme 1/n.

106. Dans la formule ci-dessus, on peut admettre que le terme *aE* est prépondérant en voix de poitrine ouverte, puisque E croît avec le degré de contraction du thyro-aryténoïdien interne et externe; le terme *bT* serait alors petit, sinon négligeable, devant lui.

En voix de poitrine couverte, la mise en action du crico-thyroïdien, après le passage, accroît consi-

dérablement l'importance du terme bT , qui cesse d'être négligeable devant aE .

En voix de fausset, le terme aE devient petit, puisque le thyro-aryténoïdien interne n'est plus, ou presque plus, contracté; et le terme bT est lui-même petit, puisque le crico-tyroïdien lui-même n'est pas activement contracté (sauf peut-être dans le fausset suraigu).

En ce qui concerne la valeur respective des termes f et cP , on peut admettre que, dans les conditions normales d'émission de la voix de poitrine, f est toujours beaucoup plus grand que cP ; mais la différence s'atténuerait en voix de fausset, car le coefficient d'amortissement f doit raisonnablement croître avec la contraction du thyro-aryténoïdien interne. Quoi qu'il en soit, n serait une *fonction croissante* de P dans les limites de P réalisables par l'être vivant, c'est-à-dire en-dessous d'une certaine limite (lorsque P deviendrait très-grand, comme sur les modèles d'EWALD et de WETHLO, n serait alors fonction décroissante de P , ce qui est conforme à l'expérience).

En résumé, la *durée du retour en contact*, qui varie comme $1/n$, serait : *fonction décroissante* de E , de T et de P dans les limites physiologiques normales réalisées dans le chant; et *fonction croissante* de l'inertie m (proportionnelle à la masse de la corde animée par la vibration).

Sur la phase d'occlusion pendant la vibration.

107. Il me faut expliquer pourquoi une phase d'occlusion, ou de contact prolongé, existe en voix de poitrine, alors qu'elle n'existe pas en voix de fausset. Cette explication résulte de la comparaison entre N , fréquence de la stimulation récurrentielle qui règle le rythme de la contraction des fibrilles transversales, et n , fréquence de la pulsation donnée par la formule approchée précédente qui règle le mouvement de rappel de la corde vers la ligne glottique médiane.

Si n est beaucoup plus grand que N , et ce sera le cas en voix de poitrine où le terme E est considérable, la pulsation de retour sera beaucoup plus rapide que la fréquence des contractions fibrillaires. On verra alors les cordes revenir en position d'accolement et y séjourner un temps plus ou moins long avant que n'apparaisse la phase suivante d'écartement correspondant à une nouvelle contraction fibrillaire.

Si au contraire n est insuffisamment grand, et ce sera le cas en voix de fausset où le terme E est petit ou nul, on verra apparaître une nouvelle contraction fibrillaire, produisant un écartement des cordes, alors que la pulsation de fermeture ne sera pas encore complètement terminée, c'est-à-dire que la glotte ne se fermera jamais complètement en phase de rapprochement des cordes vocales.

Sur la fixation de la fréquence du son émis par le larynx.

108. On peut d'abord se demander comment le son laryngien devient de plus en plus aigu, et ensuite comment se fixe la limite extrême d'émission dans l'aigu. La réponse de principe à cette double question est simple :

a) Le son laryngien, ayant sa fréquence imposée par le rythme de la stimulation récurrentielle, devient de plus en plus aigu à mesure que la fréquence des excitations récurrentielles croît.

b) La fréquence maximum du son que peut atteindre un sujet est celle à partir de laquelle le tétanos des fibrilles transversales thyro-aryténoïdiennes est *complètement aplati*. Cette limite atteinte, en effet, il n'y a plus de fibrillation, et la glotte demeure *fermée*, comme le montre l'observation directe.

Ces explications appellent différentes observations de détail que j'énumère ci-dessous :

1° Lorsqu'un muscle en état de tétanos ondulé se fatigue, l'expérience montre qu'il exige d'abord une *stimulation plus forte*, et ensuite que la fréquence de ses ondulations *tend à baisser*. Cela me paraît devoir être rapproché du fait suivant : lorsqu'un chanteur commence à donner des signes de fatigue, il doit fournir un *effort volitif de contraction glottique* plus soutenu, et de plus il *chante bas*.

2° Un chanteur atteint ses notes suraiguës extrêmes, non pas par un effort de souffle, mais par un effort *psychique, volitif*, intense, accompagné d'une représentation auditive préalable de la hauteur tonale à atteindre. On peut expliquer ce fait en disant que l'effort volitif a eu pour effet de réaliser au niveau du larynx une *subordination* qui a passagèrement imposé aux fibrilles transversales un abaissement de leur chronaxie de subordination; cet abaissement a eu pour conséquence de reculer d'un demi-ton ou d'un ton la limite d'apparition de leur tétanos aplati, facilitant ainsi l'émission dans l'aigu.

D'une façon plus générale, le même raisonnement conduit à penser que, à mesure que l'on chante sur des notes de plus en plus aiguës, l'élévation de la fréquence de la stimulation récurrentielle doit s'accompagner d'un *effet de subordination* sur le système « fibrille-filet nerveux » qui la reçoit. Cette vue est d'autant plus soutenable que A.-M. MONNIER, dans sa Thèse remarquable sur le *Mécanisme de la subordination nerveuse* (Paris, 1933), a mis en évidence que cette subordination consistait en des variations de la polarisation des nerfs, et que ces variations étaient en rapport avec les réponses rythmiques obtenues.

3° De nombreux laryngologistes, et notamment TARNEAUD, ont souvent signalé le fait que des stimulations transmises par la *voie sympathique* à la musculature

laryngée, et à points de départ divers, favorisaient l'émission, surtout dans l'aigu. Ils expliquent le fait en invoquant en général une élévation consécutive du *tonus musculaire* laryngé.

Mais j'ai montré (*Obs. 44*, § 72) que le tonus de la musculature laryngée n'était pas en cause dans la phonation, qui n'utilise que la contraction volontaire. Il me paraît plus raisonnable d'expliquer cette action stimulante du sympathique en invoquant son action bien connue qui diminue la chronaxie du muscle qui la reçoit (parfois de moitié).

C'est dans ce sens que la théorie de la vibration des cordes vocales exposée ci-dessus peut être dite *neuro-chronaxique*.

Sur les limites tonales de la voix d'un sujet donné.

109. Ainsi donc, selon la théorie dont les grandes lignes viennent d'être exposées, la hauteur du son fourni par le larynx serait imposée par la fréquence des stimulations qui lui viennent par le récurrent.

Il en résulte que les limites entre lesquelles ces stimulations peuvent être *utilisées* par les fibrilles transversales thyro-aryténoïdiennes fixeraient celles de la voix pour un sujet donné, c'est-à-dire conditionneraient le *classement vocal* du sujet.

Si par exemple, pour un individu, ces limites sont en gros 250 et 1000 oscillations à la seconde, le sujet présentera une voix allant de l'*ut*² à l'*ut*⁴, et sera ainsi un ténor.

Le classement vocal d'un sujet dépendrait donc des caractéristiques de son système neuro-musculaire laryngo-récurrentiel.

Or la principale de ces caractéristiques est évidemment la chronaxie des fibrilles transversales du thyro-aryténoïdien interne, qui est égale à celle des neurones du récurrent chaque fois que l'influx nerveux est transmis au larynx.

Comme la fréquence des oscillations qui circulent le long d'un nerf est en rapport inverse avec sa chronaxie, le changement de cette fréquence peut ainsi être considéré comme un phénomène de subordination, et les limites de cette subordination détermineraient les limites de la voix.

Bien entendu, la chronaxie de constitution du système « corde vocale-récurrent » constituerait, en fait, une sorte de *caractéristique moyenne* pour chaque individu, en rapport avec les limites entre lesquelles sa chronaxie de subordination peut varier pendant la phonation.

Et c'est ainsi que la chronaxie de constitution de la musculature laryngée de chaque sujet peut valablement être considérée comme le facteur essentiel de la classification vocale établie par rapport aux limites tonales d'émission.

Explication des différents modes vibratoires des cordes vocales suivant les registres.

110. Partant d'un son très-grave et montant tous les degrés de l'échelle vocale, je vais expliquer les observations systématiques décrites dans la Première partie de ce travail, sous les numéros 4 à 24.

1° Du grave extrême jusqu'au *la bémol*² environ (petit passage), la contraction du thyro-aryténoïdien interne croît régulièrement; E croît, et peut-être aussi *f*; mais *n* croît moins vite que N, de sorte que la durée de retour *diminue moins vite* que la période vibratoire imposée par le récurrent. La phase d'occlusion va donc tendre à diminuer et le son va tendre à perdre son mordant.

Pour y suppléer, le sujet renforce E, c'est-à-dire la contraction du thyro-aryténoïdien interne, et souvent renforce également P en accroissant l'intensité.

Arrivé au *la bémol*², la contraction du thyro-aryténoïdien interne paraît ne plus suffire pour augmenter E; celle du thyro-aryténoïdien externe entre en jeu.

2° Du *la bémol*² au *mi*³ (grand passage), la contraction simultanée de ces deux muscles assure l'accroissement constant de E en vue d'assurer une occlusion convenable de la glotte, génératrice du timbre.

Mais, au voisinage du *mi*³ sur les sons ouverts, cette contraction est devenue maximum. Si le sujet monte plus haut avec le même coefficient de rappel élastique E, la phase d'occlusion diminue, et la voix perd son mordant : *elle blanchit*, phénomène bien connu des chanteurs.

3° Au-dessus du *mi*³ intervient alors un nouveau mécanisme musculaire qui va faire croître la force de rappel et faire réapparaître une phase d'occlusion convenable. Le crico-thyroïdien se contracte, accroissant brusquement le coefficient T. Comme l'accroissement est brusque, il s'accompagne en général d'une diminution de E, c'est-à-dire d'une détente légère du thyro-aryténoïdien externe et peut-être aussi interne.

Le sujet gravit ainsi, en voix couverte, les derniers échelons de sa voix de poitrine, augmentant à la fois E et T, et souvent aussi P.

Sur le dernier son de poitrine émis en voix couverte, les cordes ne vibrent presque plus, soit que le tétanos des fibrilles transversales parvienne à son stade aplati, soit que la contraction fibrillaire, trop faible, ne parvienne plus à les écarter (amplitude tendant vers zéro).

4° Chez certains sujets, après le passage du *mi*³, le son ne se couvre pas, c'est-à-dire que la contraction du crico-thyroïdien ne se déclenche pas. Mais un mécanisme différent apparaît : la constriction glottique se maintient très-ferme dans la région aryténoïdienne, qui paraît ne plus vibrer, tandis qu'une amplitude normale persiste sur les deux-tiers ou les trois-quarts

antérieurs des cordes vocales. C'est la *vibration réduite* qui s'installe (§ 53). Dans ce mode vibratoire : E garde sa valeur maximum obtenue sur les sons ouverts avant le passage, T demeure faible, *mais l'inertie m diminue* en proportion de la réduction de la partie vibrante. Le son émis garde alors ses caractéristiques de son ouvert, mais perd énormément de sa rondeur et de son volume.

Dans ces conditions, l'observation montre que c'est en général la partie antérieure des cordes qui continue à vibrer ; ce que j'explique par la constatation anatomique faite au paragraphe 102 : les fibres longitudinales du thyro-aryténoïdien interne sont souvent moins denses à cet endroit.

5° Pour émettre des sons plus aigus, le sujet doit modifier complètement sa statique musculaire laryngée ; car, dans un cas comme dans l'autre, le coefficient E est parvenu à son *maximum maximorum*, et la raideur de la corde tend à annuler l'effet de la *chiquenaude fibrillaire*. Il décontracte alors le crico-thyroïdien et le thyro-aryténoïdien (ce dernier au moins partiellement), et le son *passé en fausset*. Le temps de rappel devient beaucoup plus long, de sorte que chaque nouvelle contraction fibrillaire survient à un instant de la phase de rappel où l'occlusion n'est pas encore réalisée : la glotte ne se ferme jamais.

Lorsque le son devient plus aigu, E, T et P restent petits et varient peu, de sorte que la glotte se ferme de plus en plus imparfaitement. Dans l'aigu cependant,

un accroissement progressif limité de E réapparaît et également, à une certaine hauteur tonale (vers le *si*³ chez moi), une contraction du crico-thyroïdien qui relève la valeur de T. C'est en quelque sorte un passage de la voix de fausset analogue à celui du *mi*³ en voix de poitrine ouverte.

6° Des explications qui précèdent, il résulte que le mécanisme de la fixation de la hauteur du son est le même dans tous les registres : c'est toujours le rythme de la stimulation récurrentielle qui impose celui des contractions fibrillaires, lesquelles provoquent les phases d'ouverture des périodes vibratoires.

Suivant les registres, ce sont *les mécanismes de rappel qui varient* et, avec eux, l'amplitude réalisée ainsi que la durée de la phase d'occlusion. On comprend donc que chacun d'eux commande un *timbre glottique* particulier, et aussi nécessite, dans une certaine mesure, une pression minimum (voix de poitrine) ou une pression maximum (voix de fausset).

7° L'explication des sons filés est immédiate :

En voix de poitrine, l'intensité du son fait croître P, et E aussi par synergie musculaire ; $1/n$ décroît, et la phase d'occlusion augmente, tandis que l'amplitude diminue. C'est ce que l'on constate (*Obs. 1 et 2*).

En voix de fausset, lorsque P croît, E ne peut croître, ni T, et, si *f* est plus petit que *cP*, *n* peut diminuer et $1/n$ augmenter. La durée de retour croît, tandis que l'amplitude croît aussi, et la béance de la glotte augmente dans le *forte*. C'est ce que l'on constate (*Obs. 3 et 4*).

CHAPITRE X

LE CONDITIONNEMENT DU SON LARYNGIEN EN HAUTEUR, EN INTENSITÉ ET EN TIMBRE, DANS LA THÉORIE NEURO-CHRONAXIQUE (Considérations psycho-physiologiques.)

Le conditionnement psycho-physiologique du son laryngien en hauteur.

111. Je me propose de discuter maintenant d'un certain nombre de *problèmes particuliers* posés par la thèse générale, exposée plus haut, de la fixation de la fréquence du son laryngien par un rythme nerveux imposé par les centres et suivant les voix motrices ordinaires du récurrent.

J'examinerai successivement :

Les sources possibles du stimulus périodique.

La relation entre le stimulus récurrentiel volontaire et l'activité des centres auditifs et idéo-moteurs.

Le contrôle extéroceptif et la régulation psycho-auditive de la hauteur du son laryngien.

La fixation de la hauteur du son en l'absence de contrôle auriculaire et dans la parole habituelle.

La modification de la hauteur du son par voie réactionnelle.

Les sources possibles du stimulus périodique.

112. Deux catégories de sources possibles peuvent être invoquées pour expliquer le déclenchement du stimulus récurrentiel rythmique :

a) Reprenant une idée d'EWALD (§ 94), on peut invoquer une action proprioceptive exercée, au niveau du larynx, par la pression sous-glottique elle-même, déclenchant la vibration par un *réflexe court*. Dans le même ordre d'idées, on sait que la périodicité des actes respiratoires peut, dans certaines conditions, être entretenue par des incitations simplement périphériques (rythme de CHEYNE-STOKES).

Ce stimulus ne saurait être retenu dans la phonation normale : il ne saurait expliquer les limites tonales si étendues observées dans le chant ; de plus, l'expérience

montre que la pression sous-glottique peut croître énormément (dans l'effort, par exemple), sans que la fibrillation laryngée se déclenche ; enfin la cocaïnisation profonde du thyro-aryténoïdien interne ne supprime pas la stimulation (§ 65).

Toutefois, dans certaines circonstances particulières, et notamment sous anesthésie générale (dans les interventions chirurgicales, par exemple), les sons sourds et très-graves poussés par les patients *pourraient* être stimulés ainsi en l'absence de toute possibilité d'action corticale ou bulbaire.

b) Dans le cas général, il semble que l'on doive invoquer un stimulus provenant de l'activité rythmique des centres. Mes *Observations 39 à 42* font admettre que l'intervention d'un niveau au moins bulbaire est nécessaire pour maintenir la possibilité d'une vibration, quoique de fréquence instable.

Quoi qu'il en soit, dès que l'action volitive d'une fréquence se manifeste, une intervention *corticale* est certaine. Les centres corticaux mis en œuvre sont nécessairement liés aux centres auditifs par une cascade de relais. Leur champ de fréquence possible est évidemment considérable, car ils se sont développés après ceux de l'audition, laquelle précède phylogénétiquement la phonation. Mais les fréquences utilisées réellement dans la phonation ont un champ beaucoup plus étroit, limité par les possibilités de fibrillation du larynx.

Relation entre le stimulus récurrentiel volontaire et l'activité des centres auditifs et idéogènes.

113. En thèse générale, et dans le cas d'un son émis à une hauteur voulue et *désirée par l'oreille*, il paraît raisonnable d'admettre que le rythme initial est imposé par les neurones du centre de l'audition

mis en état d'activité volontaire par les centres idéogènes (ou idéo-moteurs, selon la terminologie adoptée). Une cascade de relais le conduirait au récurrent⁽¹⁾.

Il semble bien établi que la régulation rythmique volontaire initiale soit faite par la *représentation intérieure* de la hauteur du son (§ 92). On sait que, à elle seule, elle suffit à déclencher des actes moteurs multiples : fermeture de la glotte, descente du larynx, etc. C'est le « chant intérieur » (*inneres Singen*) de NADOLECZNY, bien connu des chanteurs. La formation d'une *image auditive* est donc nécessaire au début; sa hauteur règle la fréquence du rythme récurrentiel; son timbre déclencherait même une série de mouvements d'accommodation du résonnateur pharyngo-buccal par le facial et le glosso-pharyngien utilisant des coordinations acquises au cours de l'éducation vocale. Par la suite, des automatismes pourraient intervenir. Je rappelle ici, pour mémoire, que, dans la théorie psycho-physiologique si séduisante de la formation des images auditives (Georges DUMAS : *Nouveau Traité de psychologie*, II, 588), la *perception* est donnée par le fonctionnement des mêmes centres sous stimulus *sensoriel*, tandis que l'*image auditive* est donnée par le fonctionnement des mêmes centres sous stimulation venue des *centres idéogènes* (ou idéo-moteurs), d'où une grosse différence d'intensité et de netteté.

Dans l'acte volontaire du chant sur une hauteur donnée, on distinguerait donc deux phases :

a) une phase de représentation interne du son, c'est-à-dire d'activation des centres auditifs sous stimulation idéo-motrice;

b) puis une phase par laquelle l'émission se déclenche par la brusque ouverture du circuit sur un relai atteignant le récurrent (accord chronaxique brusquement réalisé à une synapse, par exemple).

L'existence séparée de ces deux phases est d'ailleurs certaine : je puis me représenter intensément un son en hauteur et timbre *sans pour cela l'émettre*; pour passer à son émission, il faut *quelque chose de plus*.

Ces vues me paraissent, à la réflexion, rentrer dans le cadre général d'une psychologie réflexive assez analogue à celle de BECHTEREW.

Le contrôle extéroceptif et la régulation psycho-auditive de la hauteur du son laryngien.

114. Dès qu'un son est émis, il est perçu par l'oreille, plus d'ailleurs par conduction osseuse interne que par voie aérienne. Les phénomènes fondamentaux de conduction nerveuse observés jadis par WEVER & BRAY doivent alors être utilisés.

(1) Dans ces conditions, qui sont celles du chant, les centres auditifs réaliseraient l'*intégration*, au sens jacksonien du terme, de l'activité des racines motrices corticales du récurrent.

Si le son émis est juste, — c'est-à-dire s'il est bien celui désiré par l'oreille —, il y a accord entre les influx de retour remontant de l'oreille vers les centres et ceux stimulés dans ces mêmes centres pour la formation de l'image auditive initiale.

Si le son émis n'est pas juste, c'est-à-dire si le rythme des fibrillations laryngées n'est pas celui de l'image auditive initiale, les influx remontant de l'oreille interne vers les centres n'auront plus le rythme de ceux stimulés initialement dans ces mêmes centres. Si une « correction » a lieu, elle ne pourra survenir que par une synchronisation des influx récurrentiels sur ceux de l'image auditive. Mais que faut-il pour qu'elle ait lieu ?

J'ai souvent observé, à ce propos, deux cas typiques bien distincts :

1° *Cas F.* — Le sujet n'est pas musicien ; il émet un son qui n'est pas juste.

Je conclus que c'est son oreille qui n'est pas éduquée (comme on dit couramment), c'est-à-dire ses centres auditifs. Le sujet ne forme pas d'image auditive initiale, ou, s'il la forme, elle est fautive.

2° *Cas G.* — Le sujet est musicien ; son oreille, c'est-à-dire ses centres auditifs, sont parfaitement éduqués ; il émet cependant un son faux, et s'aperçoit qu'il est faux ; mais il ne sait le corriger.

Je conclus qu'il forme, au préalable, une image auditive convenable, puisque le désaccord est perçu. Mais le sujet ne réalise pas l'ouverture sur son récurrent du circuit psycho-auditif correct.

Dans l'examen de ces cas, on voit que le *chant juste* sur une note désirée exige *quelque chose de plus* que des centres auditifs éduqués. Il faut en plus un montage de coordinations en direction du larynx, c'est-à-dire le fonctionnement correct de voies d'association et de relais neuroniques entre les centres auditifs et le récurrent.

L'explication des troubles de MOREAUX (§ 92) est facile en fonction de ces notions. Dans les surdités tonales « en îlots » décrites par lui, le contrôle extéroceptif, par l'oreille, était supprimé sur certaines notes, et le sujet ne savait pas s'il chantait juste sur ces îlots. Une représentation interne auditive assez intense sur ces notes suffisait cependant pour rétablir la justesse de l'émission.

Dans le cas général de centres auditifs éduqués et d'un bon fonctionnement de leurs relais vers le récurrent, on peut donc dire que le contrôle auriculaire renforce et stabilise la hauteur du son par l'accord des influx de retour provenant de l'oreille interne. Lorsque ces derniers font défaut par la *surdité périphérique*, la représentation interne initiale issue des images auditives *peut encore suffire* pour assurer la justesse du son émis, c'est-à-dire pour assurer et stabiliser le rythme des stimulations récurrentielles.

Fixation de la hauteur du son en l'absence de contrôle auriculaire et dans la parole habituelle.

115. Ce qui précède fait comprendre la fixation de la hauteur du son laryngien dans le chant, c'est-à-dire lorsque le sujet fait un effort volitif en vue d'une hauteur donnée.

Mais que se passe-t-il lorsque le sujet ne s'impose pas une hauteur donnée, soit que :

une anesthésie générale supprime le fonctionnement de tous ses centres ;

une surdité centrale supprime celui de ses centres auditifs ;

il n'y porte pas attention (cas de la parole habituelle).

L'observation montre que les cordes vocales peuvent encore, dans certaines conditions, vibrer. D'où vient leur stimulus ? Comment se règle sa fréquence ? Voilà ce qu'il conviendrait d'éclairer.

N'ayant pas fait à ce sujet d'observations ou d'expériences systématiques, je me bornerai à indiquer comment le problème se pose en fonction de quelques faits connus et de quelques observations particulières.

Dans la parole habituelle, lorsque le sujet ne s'impose nullement une hauteur donnée, l'observation montre que la fréquence du son est toujours *rapidement fluctuante* : le moindre enregistrement le montre. Dans une seconde de conversation habituelle, la hauteur tonale peut varier 10 ou 15 fois, et dans des limites embrassant deux octaves, le son passant parfois en fausset. Cela ne doit pas étonner, puisque aucun rythme imposé ne vient stabiliser le régime des fibrillations laryngées. Les *Observations 39 à 43* montrent qu'une activité de niveau bulbaire suffit à stimuler le récurrent et à faire fibriller les cordes vocales. Est-ce à dire que, dans la parole habituelle, le niveau de stimulation serait uniquement bulbaire ⁽¹⁾ ?

Je crois que la réalité est plus complexe, pour la raison suivante : ce qui, dans la conversation habituelle, paraît influencer le plus sur l'intonation, ce sont les *intentions expressives et les réactions émotionnelles* (gaieté, douleur, peur, etc.). Or, si les émotions et leurs expressions naturelles et mimiques ont, comme on le sait, des représentations corticales, leur origine propre paraît provenir de la région thalamique et opto-striée. On peut donc penser que, dans la conversation habituelle, ce sont des stimulations rythmiques, — évidemment fluctuantes —, en provenance de cette région, qui viendraient rythmer celles du récurrent, et donneraient ainsi à la parole habituelle son *cachet affectif ou expressif* si marqué par la fluctuation de ses intonations.

(1) Lorsqu'une hauteur particulière n'est plus désirée par l'oreille, l'intégration réalisée dans le chant par les centres auditifs n'existe plus : d'où libération de la fréquence des influx récurrentiels, et fixation de celle-ci par des activités de niveaux inférieurs.

La modification de la hauteur du son par voie réactionnelle.

116. La réaction, sur le larynx, des résonnances bucco-pharyngées n'est pas suffisante, en général, pour modifier la hauteur du son laryngien, c'est-à-dire le rythme des fibrillations thyro-aryténoïdiennes. Mais, dans certaines conditions, soit à la limite aiguë de la tessiture (§ 89), ou sous l'effet de la réaction d'un résonnateur adjuvant (§ 76), le rythme des fibrillations laryngées peut être *forcé* par voie réactionnelle, et la hauteur varie malgré le désir auditif qui appelle le maintien de la fréquence.

Que se passe-t-il dans ce cas ? Il n'est pas absurde de penser que le rythme nouveau imposé aux fibrillations laryngées par une *action mécanique périphérique* remonte vers les centres par le laryngé supérieur, où, en un certain point des relais, il doit s'opposer à celui émanant des circuits auditifs. Il prendrait alors le pas sur ceux-ci, par un phénomène de « *pace maker* » autrefois invoqué par ADRIAN dans des cas de semblables conflits, et dont le fonctionnement du cœur offre un exemple typique par son nœud sinusal.

Le conditionnement du son laryngien en intensité.

117. L'intensité du son laryngien est exclusivement sous la dépendance de la pression sous-glottique réalisée. Elle n'a aucun rapport avec l'amplitude de l'ouverture glottique réalisée par la fibrillation thyro-aryténoïdienne. Au contraire, cette amplitude diminue en voix de poitrine, quand on passe du *piano* au *forte* sur une même note (son filé ; *Obs. 1 et 2*).

Bien que la pression sous-glottique puisse atteindre, dans le chant, 100 cm d'eau (GUTZMANN & LOEWY), elle reste incomparablement plus faible que celle qui est nécessaire pour « faire parler » les larynx artificiels d'EWALD et de WETHLO, construits sur le modèle d'anches à bourrelets. EWALD en avait déjà fait mention autrefois.

Les remarques suivantes sont à faire :

1° Sous contrôle auditif, le sujet qui chante réalise l'intensité désirée par une contraction volontaire appropriée des muscles réglant l'expiration. Mais il y a toujours contraction synergique du sphincter glottique, en voix de poitrine ouverte et couverte. Il est toutefois possible que cette contraction synergique, si nette sur un son filé, soit liée au désir du sujet de *garder un certain timbre* dans le *forte* ; la contraction du sphincter laryngien serait alors *secondaire*, et l'éducation seulement l'intégrerait dans une synergie. Le problème reste posé.

2° En l'absence de contrôle auditif, — sous l'assourdisseur par exemple —, il est bien connu que le sujet

ne peut plus régler son intensité : celle-ci croît sans que le sujet s'en aperçoive. On peut se demander s'il n'y aurait pas inhibition des antagonistes par défaut de contrôle auditif.

Il est à noter que, sous l'assourdisseur de BARANY, si le sujet concentre sa volonté sur le désir de chanter *piano*, il peut parvenir à diminuer l'intensité du son émis, mais sans pouvoir, à ce qu'il semble, en régler l'intensité de façon certaine.

3° Le chant à l'air libre fatigue plus que le chant dans une salle close : le chanteur est moins maître de son intensité. Tout se passe comme s'il s'entendait moins, et comme si les conditions d'un affaiblissement de l'audition étaient réalisées. Mais la question est ici plus complexe, car le chant à l'air libre donne naissance à une onde progressive qui modifie l'impédance acoustique à la sortie de l'orifice buccal. De ce fait, il y a modification de la réaction bucco-pharyngée sur le larynx, modification que le chanteur exercé perçoit fort bien et qui le gêne lorsqu'il n'y est pas habitué. Cette modification réactionnelle déclenche elle-même une modification de la pression sous-glottique dans le cas général.

Je ne puis ici que signaler la complexité de ce phénomène.

Conditionnement du son laryngien en timbre et du mode vibratoire des cordes vocales.

118. Les raisons ne manquent pas pour affirmer que, même en voix de fausset, le son laryngien est une *fourniture complexe*. Mais l'expérience suivante, réalisée, en 1933, par BERGER (*Zeitschr. f. Kinderf.*, 42, 1934, p. 219), le démontre nettement : sur un sujet laryngectomisé, un otaudion (appareil réalisant un son rigoureusement simple de hauteur voulue) a été branché au lieu et place du larynx ; le son recueilli à la sortie de la bouche est sinusoïdal quelle que soit la forme donnée par le sujet à ses cavités de résonance, sans aucune différenciation vocalique. Les cavités ne peuvent donc dessiner les voyelles parlées et chantées (hormis les sons chuchotés) en l'absence d'une fourniture laryngée suffisamment complexe pour exciter les résonateurs traversés par elle.

Cette *fourniture laryngée* varie-t-elle avec les voyelles ? Quels facteurs la déterminent ? Les observations relatées dans la Première partie permettent d'affirmer que son conditionnement est double ; il dépend :

1° de la phase d'occlusion glottique, de sa durée et de sa tenue ;

2° de la réaction exercée sur la vibration des cordes vocales par les cavités sus-glottiques.

Le rôle de la phase d'occlusion.

119. Au niveau exact de la glotte, la *pression* de l'air, ou encore son *débit*, sont fonctions périodiques du temps pendant la vibration des cordes vocales, et ce sont ces fonctions qui caractérisent la fourniture laryngée.

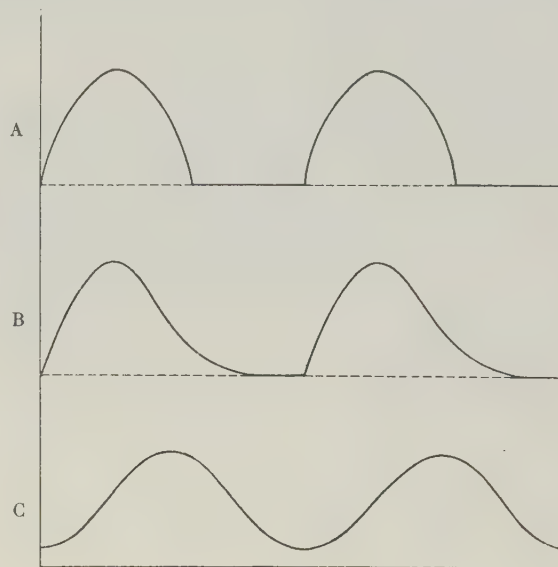


Fig. 34. — VARIATIONS DE LA PRESSION, OU DU DÉBIT, AU NIVEAU DE LA GLOTTE, SUR DEUX PÉRIODES CONSÉCUTIVES, SELON LE TYPE D'ACCOLEMENT RÉALISÉ ET DANS LE CAS OÙ IL NE SE RÉALISE PAS.

A : cas d'un accolement ferme dans la phase d'occlusion. B : cas d'un accolement mou : le rappel faiblit. C : l'accolement ne se réalise plus, en voix de fausset, par exemple.

Or, suivant que la vibration des cordes comprend un *accolement ferme*, un *accolement mou*, ou *pas d'accolement* du tout (fausset), ces fonctions peuvent se représenter graphiquement comme l'indique la figure 34, qui met en évidence l'existence de *points de rebroussement* lorsque l'accolement est ferme.

La fourniture laryngée sera donc, *grosso modo*, représentée par la *série de FOURIER* qui représente elle-même, dans chaque cas, la courbe de la figure 34 sur une période vibratoire.

Or la théorie élémentaire de ces séries montre que l'*importance relative* et le *nombre* des harmoniques sont fonction directe des *accidents de la courbe* : discontinuités, rebroussements, etc.

Conclusion : la *fourniture laryngée* sera d'autant plus riche en harmoniques aigus, c'est-à-dire que le son laryngien aura d'autant plus d'éclat et de « mordant », que l'accolement glottique sera mieux réalisé et plus ferme après chaque phase de rappel.

C'est ce que mettent en évidence mes *Observations 1* à 3, 22 à 24, et les expériences relatées aux §§ 63 à 67.

Les différences de timbre glottique entre la voix de poitrine normale (cas A), la voix de poitrine avec affaiblissement du rappel (cas B), et la voix de fausset

(cas C), sont ainsi expliquées sans qu'il soit utile d'insister.

En fait, les considérations ci-dessus ont la valeur d'une *démonstration*.

Le rôle de la réaction des cavités sus-glottiques.

120. Je l'indique ici pour mémoire. Son étude fait l'objet du chapitre XI qui suit.

La réaction des cavités sus-glottiques influe non-seulement sur la composition de la fourniture laryngée de façon générale, mais, au surplus, je montrerai que, en certains points de la tessiture (passages), elle déclenche des modifications réflexes de la statique laryngée et du mode vibratoire des cordes; en ces points, elle devient donc facteur principal modificateur du timbre glottique.

Les facteurs secondaires du conditionnement.

121. J'appelle facteurs secondaires du conditionnement du timbre glottique tous ceux qui peuvent faire varier les deux premiers facteurs indiqués plus haut, et notamment le premier.

La phase d'occlusion dépend directement de la contractilité des fibres longitudinales du thyro-aryténoïdien interne et des fibres du crico-thyroïdien, notamment et au premier chef (§§ 103 à 107). Tous les facteurs agissant en plus ou en moins sur cette contractilité vont avoir une action directe et proportionnée sur le timbre glottique, et tout particulièrement :

les actions réflexes à points de départ pharyngés (64) ;

les actions réflexes empruntant la voie sympathique, et dont les points de départ peuvent se répartir sur toute la muqueuse de l'arbre respiratoire (НАНН, TARNEAUD), ou même provenir de points très-éloignés (intestins, ovaires, etc.) ;

les actions réflexes ayant leurs points de départ sur les territoires innervés par le trijumeau, le facial, le glosso-pharyngien et le vague, et contribuant à abaisser le seuil d'excitabilité des noyaux moteurs laryngés ;

les actions transmises par voie humorale, en général de nature endocrinienne (TERRACOL) ;

les actions psychiques, stimulantes ou inhibitrices, agissant vraisemblablement sur la chronaxie de subordination au niveau du larynx, et qui sont peut-être les plus importantes et les plus efficaces.

Sur le timbre de la voix parlée.

122. Du point de vue du timbre, la voix parlée et la voix chantée paraissent présenter une différence fondamentale que toute analyse d'enregistrements met en évidence, et déjà signalée, il y a quarante ans, par l'abbé ROUSSELOT : alors que la voix chantée ne contient que des sons harmoniques d'un fondamental, la voix parlée paraît contenir des partiels, parfois nombreux, non harmoniques du ton fondamental de l'émission.

L'explication de ce fait est la suivante :

a) Dans le chant, l'action corticale régulatrice des centres auditifs impose aux stimulations récurrentielles une fréquence *bien tenue*, dont les variations ne dépassent pas, en général, 1 % de la hauteur tonale, limite qui paraît d'ailleurs être celle de la sensibilité auditive. En conséquence, les enregistrements obtenus dans le chant donnent toujours des tracés rigoureusement périodiques où une analyse ne trouve que des sons harmoniques d'un fondamental.

b) Dans la parole, le sujet ne parle pas sur une fréquence donnée; il n'y porte pas attention. La fréquence du son, libérée de sa régulation auditive, *fluctue rapidement* entre des limites données et, sur les enregistrements, on la voit varier de façon quasi continue, par groupe de 8 à 10 périodes, en offrant, au surplus, des variations plus lentes de l'amplitude. En conséquence, les enregistrements obtenus sont en toute rigueur représentatifs de fonctions *quasi périodiques* du temps. Or de telles fonctions sont précisément définies (FAVARD) par des séries de FOURIER dont les termes ne sont plus harmoniques les uns des autres, mais dont les périodes sont en principe quelconques. Il n'est donc pas étonnant que, dans ces conditions, l'analyse des enregistrements mette en évidence des partiels inharmoniques.

Mais il n'y a là qu'une apparence due à ce que, dans la voix parlée ordinaire, la fréquence *n'est plus tenue* par une régulation corticale, et que par conséquent elle n'est plus fonction périodique du temps, mais *quasi périodique* (avec ses conséquences analytiques).

Bien entendu, si on observe la voix parlée par petits groupes de 3 ou 4 périodes seulement, la périodicité reparait et les sons inharmoniques s'évanouissent, mais la série harmonique obtenue varie dans son fondamental et dans sa fourniture pour chaque groupe de périodes choisi.

TROISIÈME PARTIE

LE COUPLAGE DU LARYNX
ET DU RÉSONNATEUR PHARYNGO-BUCCAL

TROISIÈME PARTIE

LE COUPLAGE DU LARYNX
ET DU RÉSONNATEUR PHARYNGO-BUCCAL

CHAPITRE XI

LA RÉACTION DU RÉSONNATEUR PHARYNGO-BUCCAL
SUR LA VIBRATION DES CORDES VOCALES

Rappel des faits expérimentaux.

123. Dans les pages qui précèdent, la réaction des résonnateurs sus-glottiques sur la vibration des cordes vocales pendant la phonation a été décelée expérimentalement dans les circonstances suivantes :

1° En passant sur une même note d'è ouvert à *eu* ouvert (*Obs.* 27 à 30), c'est-à-dire d'une voyelle ouverte à une autre voyelle ouverte de formant buccal plus grave.

2° En passant sur une même note d'è ouvert à *é* fermé ou à *eu* fermé (*Obs.* 33 et 34), c'est-à-dire d'une voyelle ouverte à une voyelle fermée.

3° En effectuant le passage du *mi*³ sur une même note (*Obs.* 22 à 24).

4° Je l'ai signalé aussi dans le chant à l'air libre, comparativement au chant dans une salle close (§ 117, 3°).

5° Lorsque le voile du palais est *tant soit peu abaissé*, par l'action des cavités rhino-pharyngée et nasales (§ 88 à 91).

6° Par l'adjonction d'un résonnateur complémentaire pré-buccal peu amorti (expériences de D. WEISS, §§ 76 à 79).

7° Par l'adjonction du même résonnateur complémentaire, et avec assourdissement concomitant pour libérer la contrainte de fréquence (§§ 81 à 83).

Je signale ici, en outre, que E. N. MALJUTIN (L'influence du jeu des instruments à vent et à cordes sur l'organe vocal des musiciens ; *Monatsschr. f. O. L. R.*,

Heft 6, Bd. 69, 1935, Vienne), par des examens très-complets d'élèves du Conservatoire de Moscou, a mis en évidence une influence manifeste du jeu des instruments à vent — et même à cordes! — sur l'organe vocal des musiciens : hautbois (100 % des cas), trompette (100 %), basse d'harmonie (100 %), violon (94 %), contre-basse et violoncelle (20 % des cas seulement). En ce qui concerne les instruments à vent, une action réactionnelle paraît certaine : c'est l'expérience de WEISS réalisée avec l'instrument lui-même. Dans le cas des instruments à cordes, on peut invoquer un « chant intérieur » quasi permanent chez l'exécutant, et peut-être aussi un déclenchement de fibrillations laryngées homorythmiques par stimulus jaillissant des centres auditifs puissamment relancés pendant les exécutions musicales. Quoi qu'il en soit, le fait vaut d'être signalé ici.

La réaction sur la hauteur du son laryngien.

124. CUVIER (1807) estimait que la hauteur du son du larynx, à l'instar de ce qui a lieu dans certains instruments à vent, était *commandée par la longueur du tube additionnel* pharyngo-buccal. DEQUEVAUVILLER (1840), sans toutefois adopter une attitude à ce point extrême, observe que l'élévation du larynx en montant la gamme est un phénomène général chez les voix incultes, — ce qui est exact —, et en conclut que les mouvements de la langue et du voile du palais modifient le résonnateur pharyngo-buccal de façon à

l'accorder, à chaque note, sur le fondamental ou un harmonique du son du larynx. Ce sont là deux aspects de ce que l'on pourrait appeler la thèse réactionnelle pure.

Mais HELMHOLTZ (1868) a nié la possibilité d'une telle réaction, alléguant la *brièveté* du tube additionnel et le *manque de rigidité* de ses parois (nous dirions de nos jours : son trop grand amortissement). Son opinion a prévalu jusqu'à l'apparition des travaux de D. WEISS (1932) déjà cités (§§ 74 à 76) et de mes premières publications sur la question (*C. R. Ac. Sc.*, 196, 1933, p. 1535 ; et *Revue franç. de phoniatrie*, 1^{re} année, n° 2, 1933, pp. 106-167).

La réaction des cavités sus-glottiques sur la vibration des cordes vocales est cependant un fait général et d'observation aisée, mais elle ne modifie la *fréquence* du son que lorsque certaines conditions sont réalisées. L'analyse des expériences relatées aux §§ 76, 81 et 82, 88 à 91, montre que ces conditions sont les suivantes :

Il faut :

ou bien que l'on se trouve à la limite supérieure de la tessiture, en poitrine ou en fausset (l'amortissement est plus petit en raison de la contraction des masses musculaires pariétales) : c'est le cas des expériences de THOORIS et de GLOVER ;

ou bien que la réaction soit renforcée par un résonnateur adjuvant peu amorti : c'est le cas des expériences de D. WEISS ;

ou bien que la contrainte récurrentielle de fréquence soit supprimée : c'est le cas des expériences conduites à l'hôpital Boucicaut par GARDE, BLANCHET et moi-même (§§ 81 et 82), et des observations de MOREAUX, de Nancy (§ 92).

Lorsque la réaction affecte la hauteur du son laryngien, celle-ci se modifie de la façon suivante : *la fréquence du son du larynx est attirée par celle du partiel qui est nouvellement renforcé si celui-ci est voisin du fondamental laryngien, ou bien par le sous-harmonique (du partiel nouvellement renforcé) qui est le plus voisin du fondamental laryngien.*

Du point de vue acoustique, il y a donc typiquement tendance à la *synchronisation* et à la *démultipliation des fréquences*.

Du point de vue physiologique pur, on peut admettre que la stimulation récurrentielle subit un « *pace-maker* » en un point de ses relais centraux (§ 116).

La réaction sur la fourniture laryngée et sur le mode vibratoire des cordes vocales.

125. 1° La réaction d'un résonnateur sur le timbre des sons qui y excitent des résonnances, lorsque bien entendu la source sonore est située dans le *domaine immédiat* du résonnateur, est un fait observé depuis longtemps.

Il y a lieu de penser que l'accord de telle ou telle cavité, pharynx ou bouche, sur un harmonique donné du son du larynx, *favorise l'existence de cet harmonique dans le son du larynx*. Autrement dit, cet harmonique, dans le son complexe du larynx, est *émis plus intense*.

Il en est de même, bien entendu, par un *accord approché* du résonnateur. Si, par exemple, les volumes respectifs du pharynx et de la bouche sont tels, pour un larynx émettant un *a* sur *ut*¹, que leurs « sons propres » sont *voisins* de *ut*², *sol*², *sol*³..., les harmoniques 2, 3, 6... du fondamental *ut*¹ seront particulièrement intenses dans le son du larynx. Si le volume des cavités se modifie défavorablement, les « sons propres » s'éloignent des harmoniques correspondants, et ceux-ci sont moins intenses dans le son du larynx.

En un mot, la réaction du résonnateur sur la *fourniture du son du larynx* peut s'exprimer de la façon suivante :

Le timbre du son du larynx est attiré par le timbre de l'ensemble des « sons propres » du résonnateur pharyngo-buccal.

C'est là cette *loi d'affinité* qui, selon nous, règle la réaction du résonnateur pharyngo-buccal sur la fourniture du son du larynx.

2° En dehors de vérifications expérimentales difficiles à réaliser, cette loi n'est cependant qu'une *vue logique*. Aussi je crois devoir énoncer deux faits qui peuvent dans une certaine mesure l'affermir.

Le premier fait est le suivant : si la fourniture laryngée se réduisait à son fondamental, la proposition énoncée serait exacte et confirmée par l'expérience aussi bien que par le calcul. La fourniture étant complexe peut se décomposer en une *somme* de sons simples, par la considération du *principe des petits mouvements*. La loi d'affinité énoncée plus haut revient à admettre que le résonnateur réagit séparément sur chacun des harmoniques composant la fourniture laryngée, et cette proposition est vraie dans la mesure où le principe des petits mouvements est légitimement applicable à la genèse de cette fourniture.

Le second fait est le suivant : puisque les partiels du résonnateur pharyngo-buccal varient avec la *voyelle* émise, l'application de la loi d'affinité conduit à admettre que la fourniture laryngée varie elle-même avec chaque voyelle, autrement dit que chaque voyelle serait déjà *préfabriquée par le larynx*. Or le fait est exact, car les tomographies du larynx prises lors de l'émission de différentes voyelles sur une même note révèlent des attitudes laryngées différentes (différences dans l'épaisseur des cordes, la largeur de la fente glottique, l'effacement des ventricules de MORGAGNI) (voir *Thèse* de GREINER, citée au § 36).

A ce dernier point de vue, on peut même penser ceci : en l'absence de cavités sus-glottiques, il n'y

aurait qu'une seule fourniture laryngée, fonction de la hauteur d'émission et de la pression sous-glottique. Le fait que cette fourniture laryngée dépend de la voyelle n'est peut-être, pour une part, qu'un *phénomène réactionnel*, et qui dépendrait donc de la configuration des cavités sus-glottiques que l'on couple au larynx. Mais la question est sans doute plus complexe, car la déformation du résonnateur pharyngo-buccal se réalise par des actions musculaires qui, par la mise en jeu de *syncinésies* (VULPIAN), peuvent agir directement sur la statique intrinsèque des cordes vocales.

3° Réagissant sur le timbre du son laryngien, le résonnateur pharyngo-buccal doit alors réagir sur le mode vibratoire des cordes vocales, puisque c'est ce dernier qui conditionne la fourniture laryngée.

Mais ici, une preuve expérimentale en existe : ce sont les passages de la voix qui se manifestent sur certaines hauteurs tonales. La statique des cordes vocales y subit des modifications observables (§ 21), et leur genèse est nettement réactionnelle (voir § 77 et chap. XII en entier).

Sur le mécanisme intime de la réaction au niveau des cordes vocales et le rôle régulateur des impédances bucco-pharyngées et labiales.

126. Comment agit la réaction du résonnateur pharyngo-buccal, et éventuellement nasal, sur les cordes vocales ? L'importance de cette question, du point de vue *normatif* — c'est-à-dire pour ce qui concerne l'éducation de la voix et la genèse des troubles fonctionnels laryngés phonatoires —, est si grande que je crois devoir relater ici les observations fines faites à ce sujet et en discuter les résultats.

1° Toutes les observations stroboscopiques directes faites pendant que s'exerçait la réaction bucco-pharyngée (Obs. 27 à 34, 45 à 49) mettent en évidence un résultat immuable :

« Au moment où la réaction est maximum, c'est-à-dire au moment où le pharynx ou la bouche s'accordent brusquement sur un harmonique de la fourniture laryngée, ou simplement se rapprochent suffisamment des conditions d'un tel accord, l'amplitude de la vibration des cordes vocales accuse un accroissement brusque. »

Conjointement, le chanteur ressent à cet instant, au niveau du larynx, un ensemble de sensations particulières très-curieuses que l'on peut décrire métaphoriquement comme suit : sensation de réplétion légère, de stabilité, de sécurité dans l'émission. Ces sensations sont bien connues des chanteurs, et PIELKE (*Beiträge usw.* von A. PASSOW und. K. L. SCHAEFER, Bd. V, 1911), médecin et chanteur expérimenté, les a décrites autrefois en écrivant qu'un son émis dans de telles conditions : « das Gefühl des Ausruhens hat ».

2° Mais il convient d'analyser le détail.

Le pharynx et la bouche sont des oscillateurs *amortis*, et ils fonctionnent couplés entre eux et couplés au larynx qui les relance. Lorsqu'une de ces deux cavités est au voisinage de la résonnance sur un de ses partiels, on sait que c'est dans ces conditions qu'une part de son amortissement est ramenée sur l'oscillateur qui la relance (voir, par exemple, Y. ROCARD : *Dynamique générale des vibrations*, 1^{re} éd., pp. 96 et suiv.).

L'amortissement du vibreur laryngien croît donc à cet instant, c'est-à-dire le coefficient ($f - p$). Donc l'amplitude de la vibration — entre deux contractions fibrillaires successives — doit croître. C'est ce que l'on observe.

De la même façon, la pulsation des cordes vocales, supposées libres entre deux contractions fibrillaires, doit diminuer, et la durée du rappel doit croître. Donc la phase d'occlusion tend à diminuer, et le timbre à perdre son éclat (§ 119).

3° Poursuivons l'analyse.

Au niveau du larynx et immédiatement au-dessus, les variations de pression issues de la vibration glottique sont renforcées par celles excitées au sein du résonnateur, et leur niveau général s'élève ainsi que la pression moyenne au sein des cavités. Donc le *débit glottique diminue*, tandis que l'impédance au niveau du larynx croît.

Ces phénomènes doivent expliquer les sensations ressenties à cet instant au niveau glottique et supra-glottique immédiat, tandis que la durée d'émission d'un son tenu augmente, phénomène également bien mis en évidence par la pratique.

4° Ainsi donc, l'accrochage de la résonnance d'un partiel quelconque dans la cavité pharyngo-buccale se répercute comme suit sur le travail vibratoire des cordes vocales :

Il y a d'abord facilitation de l'acte d'écartement des cordes (qui peut, dans l'aigu, aider et soulager l'action des contractions rythmiques fibrillaires). Il y a ensuite tendance à l'allongement de la phase d'occlusion, qui peut causer une diminution légère de l'éclat du timbre glottique ; mais le chanteur réagit en général spontanément en augmentant la force de rappel par un léger supplément de contraction du thyro-aryténoïdien interne ou du crico-thyroïdien, suivant le registre. Il y a enfin diminution légère du débit, d'où allongement de la tenue du son sous intensité donnée.

5° Au passage, c'est-à-dire sur la dernière note ouverte en voix de poitrine (*ré*³ pour les basses ; *mi bémol*³ pour les barytons graves ; *mi*³ pour les barytons aigus et les forts ténors ; *fa*³ pour les ténors aigus), la réaction s'intensifie.

Le rappel peut être entravé, et la diminution consécutive de la phase d'accolement « blanchit », « détimbre »

la voix ; l'impédance croît au niveau du larynx, ainsi que les sensations ressenties. Sous l'assourdisseur, le son tend à baisser, et, avec le tube adjuvant de WEISS qui intensifie le phénomène, la vibration des cordes vocales peut-être *bloquée en phase d'ouverture* par un excès de pression et l'annulation du débit (§§ 80 à 83).

C'est alors que l'exécution réflexe du passage intervient, comme je l'analyserai en détail au chapitre XII qui suit, déclenchée par des sollicitations intéro- et proprioceptives multiples.

6° Dernière remarque illustrant l'analyse qui précède du mécanisme intime de la réaction bucco-pharyngée sur la vibration des cordes vocales : elle a trait au « tubage » des sons de voyelles, pratique consistant à avancer légèrement les lèvres en forme de tube en musclant plus ou moins les commissures labiales dont l'écartement se trouve ainsi interdit.

Cette pratique accroît l'impédance à la sortie de la bouche, laquelle impédance est partiellement *transférée* au niveau du larynx. La réaction sur le larynx est alors plus intense, et les résultats de la discussion qui précède s'appliquent intégralement.

Conséquences : au niveau du passage du *mi*³, le timbre perd son éclat *un peu plus tôt* en montant la gamme, et les tubeurs sont contraints de couvrir le son *un demi-ton plus bas* que les positions optimums ordinaires.

Si un tubage léger n'est point à proscrire dans le médium et le haut-médium pour les hommes, notamment dans la recherche de certains coloris expressifs où son emploi est obligatoire, il faut savoir en régler et en doser l'emploi dès que l'on arrive immédiatement au-dessous du passage, en vue de libérer la vibration des cordes d'une impédance amortissante qui atteint son maximum à ce niveau tonal.

Il est cependant une circonstance particulière où un tubage mesuré se révèle indispensable, ou sinon fort

utile : c'est dans le chant à l'air libre. L'impédance au sortir de la bouche n'est certainement pas nulle (en raison de la naissance d'une onde progressive), mais elle est beaucoup plus faible que dans une salle close. Il en résulte que l'impédance au niveau du larynx est elle-même plus faible, ainsi que le niveau général des pressions à l'intérieur de la cavité pharyngo-buccale. Le chanteur a ses poumons qui se vident plus vite, d'une part, et, d'autre part, il ressent moins intensément dans sa cavité pharyngo-buccale les sensations auxquelles il est habitué et sur lesquelles il règle son émission. En un mot, il *se sent moins chanter*. Il est dès lors conduit à augmenter inconsidérément sa pression sous-glottique et son débit glottique pour tenter d'y remédier ; en vain, bien entendu. C'est alors qu'un tubage mesuré peut ramener l'impédance de sortie à sa valeur habituelle, ramener également le débit glottique à son taux normal, et faire réapparaître les sensations internes pharyngo-buccales à leur intensité ordinaire.

7° Les considérations développées ci-dessus sur le plan *normatif* mettent en évidence que, d'une façon générale :

Les impédances pharyngo-buccales et l'impédance labiale de sortie tiennent sous leur dépendance l'impédance au niveau de la glotte, dont dépend le travail vibratoire des cordes vocales.

Elles conditionnent également, au moins en partie, les sensations bucco-pharyngées qui accompagnent l'émission de la voix.

La pratique du chant nécessite le maintien, dans les cavités sus-glottiques, d'un niveau suffisamment élevé (mais juste assez) des impédances en chaque section, en vue de freiner le débit glottique et de diminuer les contractions synergiques susceptibles d'être déclenchées, au niveau de la glotte et des muscles expirateurs, par une baisse trop rapide de la pression sous-glottique.

CHAPITRE XII

PHYSIOLOGIE DES PASSAGES ET DES REGISTRES DE LA VOIX CHANTÉE (HOMMES)

Les données auditives immédiates.

127. Lorsqu'un chanteur émet, sur une même voyelle, une gamme ascendante par exemple, l'oreille perçoit, sur certaines notes de hauteurs tonales à *peu près fixes*, une modification brusque du timbre de la voyelle émise.

Ces modifications de timbre, variables avec la voyelle, sont plus ou moins nettement observables suivant les individus, et ont été appelées de tous temps : *passages* de la voix.

Entre deux *passages* consécutifs, ou entre un *passage* et une extrémité (inférieure ou supérieure) de l'étendue vocale d'un sujet, la voyelle émise garde en général un timbre à *peu près* invariable, ou tout au moins variant à chaque degré conjoint *infinitement moins* qu'à un *passage*. Il en résulte que l'étendue vocale d'un sujet, sur une voyelle donnée, paraît, à l'audition, découpée en plusieurs tronçons ou intervalles dans lesquels la couleur de la voyelle garde un caractère acoustique *relativement bien défini*. Ces intervalles ont reçu le nom de *registres*.

Passages et *registres* sont donc deux aspects d'un seul et même phénomène phonatoire : les *passages* s'exécutent quand on change de *registre*, et les *registres* sont tonalement délimités par l'exécution des *passages*.

128. L'émission des voyelles ouvertes et fermées donnant lieu à des manifestations différentes, il conviendra de les examiner séparément.

D'autre part, les conditions mécanico-acoustiques du couplage larynx + résonateurs étant assez différentes pour les hommes et pour les femmes, en raison de ce que, d'un sexe à l'autre, le volume des cavités sus-glottiques et les limites de l'échelle tonale *ne varient pas dans le même rapport*, les passages et registres des hommes ne sont pas exactement semblables à ceux des femmes. Si les phénomènes sont de *même nature*, leur conditionnement est bien différent dans le détail.

Ce qui suivra ne concerne que les *voix masculines*. L'étude des passages et des registres des voix féminines

exigerait, en toute rigueur, — quoique sur le même canevas —, une étude spéciale et séparée, *mutatis mutandis*, et elle alourdirait inutilement ce travail.

J'examinerai successivement :

Les phénomènes *mécanico-acoustiques* et *phonétiques*.

Les phénomènes *physiologiques* et quelques conclusions de caractère *normatif*.

Pour fixer les idées, je suivrai un ténor dans son étendue normale de ut^2 à ut^4 .

PREMIÈRE CLASSE

LES PHÉNOMÈNES MÉCANICO-ACOUSTIQUES ET PHONÉTIQUES.

Passages et registres de voix de poitrine dans l'émission des voyelles chantées ouvertes (hommes).

129. Les voyelles *ouvertes* sont au nombre de quatre, ce sont :

A,
O (de or, botte, mort),
È (de père, fête, mer),
EU (de peur, cœur, bonheur).

Sur ut^2 , la cavité pharyngée, dont le *son propre* est voisin de fa^3 *au repos* (larynx modérément abaissé et pharynx non contracté), renforce le 3^e harmonique *sol*³.

Le sujet montant la gamme, le 3^e harmonique s'élève progressivement à la^3 , si^3 , ut^4 , etc. Concurrément, le pharynx tend à accommoder son *son propre* sur cet harmonique, au moins théoriquement, soit en se contractant légèrement, soit par un léger recul de la langue. En fait, ces deux phénomènes ne s'observent radioscopiquement que chez les voix incultes, tandis que, chez les voix cultivées, le pharynx ne change pratiquement pas de volume et demeure décontracté. Mais même s'il change de volume, cette diminution demeure toujours *très-insuffisante*, et le son propre du pharynx reste plus grave que le 3^e harmonique qui le relance. Aussi, presque tout de suite,

vers le $ré^2$, c'est le second harmonique $ré^3$ qui est pratiquement renforcé par le pharynx.

Quand le sujet monte la gamme de $ré^2$ à la^2 , son pharynx est relancé par le second harmonique. Le son émis ne change pas beaucoup de caractère, car les 2^e et 3^e harmoniques ont des intensités peu différentes sur les voyelles ouvertes.

Dès le fa^2 , et avec une intensité légèrement croissante, le sujet (ténor) éprouve au niveau du larynx un ensemble de *sensations particulières*, qui traduisent la réaction du pharynx sur la vibration des cordes vocales : ce sont autant de *sollicitations proprioceptives* qui tendent à déterminer le changement de registre.

Si le sujet cède à ces sollicitations, en général vers le la^2 , son pharynx se décontracte légèrement, et, ainsi agrandie, sa cavité pharyngée reprend sensiblement son volume initial, avec un *son propre* voisin de fa^3 .

A ce moment, le pharynx commence à être relancé par le fondamental laryngien, et le son prend une couleur ouverte caractéristique. Toute sensation de tension au niveau du larynx disparaît, faisant place à une meilleure perception des sensations palatales.

Aux environs de mi^3 , la réaction sur le larynx est suffisante pour déterminer au niveau de la glotte un ensemble de *sensations très-intenses et désagréables* qui constituent les *sollicitations proprioceptives* préparatoires au nouveau passage, le plus important et le dernier, puisque après son exécution le pharynx reste relancé par le fondamental lui-même du son du larynx.

Cédant à ces sollicitations, le sujet (ténor) passe du mi^3 ouvert au fa^3 en couvrant sa voix, suivant la terminologie habituelle (assez malheureuse, d'ailleurs, bien que consacrée par l'usage). A ce moment son larynx s'abaisse, son pharynx se décontracte et l'épiglotte se relève. La cavité pharyngée a un peu accru son volume en général, tandis que le mode vibratoire des cordes vocales s'est fort sensiblement modifié. Le timbre est devenu plus plein et plus rond, avec un fondamental nettement prédominant. Concurrément, les sensations ressenties au niveau du larynx font place à une sensation de détente, pendant que celles ressenties dans la région bucco-palatale prennent une intensité particulière (sensation de son *fermé* ou *couvert*).

Si le sujet parcourt le dernier registre en voix de poitrine, au delà du fa^3 , son pharynx renforce le fondamental du son laryngien. Tout comme dans les registres précédents, le résonnateur pharyngien ne peut diminuer suffisamment son volume pour garder l'accord de son *son propre* sur le fondamental laryngien, et, à mesure que la tonalité d'émission s'élève, le désaccord s'accroît entre eux. A la limite supérieure de la tessiture en voix de poitrine, *aucune modification physiologique n'est plus possible pour améliorer le couplage laryngo-pharyngien*, puisque le son du larynx ne possède pas de son plus grave que le fondamental lui-même.

Nous savons que, à ce moment, si le sujet veut émettre les sons encore plus aigus, il passe en *fausset*.

Pour comprendre ce qui se passe dans notre résonnateur pharyngo-buccal au moment du passage en voix de fausset, il faut se reporter à quelques résultats classiques relatifs à l'amplitude excitée dans un résonnateur par un son excitateur désaccordé sur lui.

Le résultat *essentiel* est le suivant : dès que le son excitateur est environ 50 % (une quinte) plus aigu que le son propre du résonnateur, *l'amplitude excitée est très-faible, quel que soit l'amortissement du résonnateur*. C'est-à-dire que le résonnateur ne « répond » plus ou presque plus au son excitateur.

Cette circonstance se présente précisément à l'extrémité supérieure de la voix de poitrine : lorsqu'un ténor émet un ut^4 ou un $ré^4$, le fondamental est environ 50 % plus aigu que le son propre du pharynx, qui est voisin de fa^3 ou de sol^3 .

L'amplitude excitée par le son du larynx dans le résonnateur pharyngien est alors irrémédiablement *petite*, et le pharynx, dès cet instant, est placé dans des *conditions mécaniques qui rendent impossible son rôle de résonnateur prépondérant couplé au larynx*.

Dès lors, si le sujet veut encore émettre des sons plus aigus, il lui faut nécessairement employer un régime de phonation dans lequel le pharynx ne joue plus de rôle *mécanico-acoustique prépondérant*, c'est-à-dire un régime de phonation qui n'utilise plus le couplage laryngo-pharyngien, rendu pratiquement inexistant.

C'est alors qu'intervient la voix de *fausset*. Dans ce mode d'émission, l'appropriation du pharynx cesse à peu près complètement, et la *cavité buccale, seule, joue le rôle de résonnateur couplé au larynx*.

Corrélativement, dans ce nouveau régime phonatoire, le mode vibratoire des cordes vocales est *considérablement modifié* par le fait que le vibrateur laryngien se trouve alors *libéré* de la puissante réaction de couplage qu'exerçait sur lui le résonnateur pharyngien dans les registres précédents, la réaction exercée par le résonnateur buccal étant beaucoup plus faible, ainsi que son impédance rapportée.

Empiètements possibles des registres l'un sur l'autre.

130. Dans l'exemple étudié d'une voix de ténor, les limites inférieures et supérieures des différents registres indiquées n'ont rien d'immuable : ce sont les *limites optimums*, et rien de plus.

En raison, d'une part des possibilités de diminution de volume du pharynx par l'élévation du larynx et la contraction de ses parois, et d'autre part de l'amortissement notable de cette cavité en tant que résonnateur, les limites supérieures de chaque registre peuvent être *volontairement retardées vers l'aigu* par le chanteur (plus ou moins selon ses caractéristiques individuelles),

de même que les limites inférieures peuvent être *avancées vers le grave*. Autrement dit, les *passages* peuvent être *exécutés volontairement un peu avant ou un peu après leurs positions optimums*.

Variabilité de la hauteur optimun des passages des voyelles ouvertes avec les tessitures et l'intensité de la voix.

131. En raison des différences de volume pharyngé existant normalement entre les différents types de voix, les positions optimums des *passages* varient quelque peu avec les diverses tessitures. Le volume du pharynx diminue de la basse au ténor et du contralto au soprano ; il en résulte que les *passages* s'effectuent sur des notes un peu plus aiguës dans les tessitures elles-mêmes plus aiguës.

L'expérience montre que les *passages* doivent s'effectuer en gamme *ascendante* sur les notes suivantes, selon les tessitures :

	PETIT PASSAGE, EN PASSANT DU	GRAND PASSAGE, EN PASSANT DU
Basse noble.....	<i>mi</i> ² au <i>fa</i> ²	<i>ré</i> ³ au <i>mi</i> <i>bémol</i> ³
Basse chantante et baryton grave.....	<i>fa</i> ² au <i>sol</i> <i>bémol</i> ²	<i>mi</i> <i>bémol</i> ³ au <i>mi</i> ³
Fort ténor et baryton aigu	<i>sol</i> ² au <i>la</i> <i>bémol</i> ²	<i>mi</i> ³ au <i>fa</i> ³
Ténor léger.....	<i>la</i> <i>bémol</i> ² au <i>la</i> ²	<i>fa</i> ³ au <i>sol</i> <i>bémol</i> ³

Pour chacune des voyelles *nasalisées* résultant de la nasalisation de la voyelle *ouverte* correspondante :

AN	correspondant à A,
IN	— È,
ON	— O,
UN	— EU,

l'abaissement plus ou moins marqué du voile du palais aggrave le son propre du pharynx (et diminue un peu son amortissement), de sorte que *tous les passages sont déplacés vers le grave*.

L'expérience montre en effet que, dans l'émission des voyelles nasalisées, les positions optimums des *passages* sont *un demi-ton plus bas* que celles des voyelles *ouvertes* correspondantes, et cela pour toutes les tessitures.

L'intensité de l'émission du son laryngien modifie également la position optimum de chacun des *passages*, et cela de façon sensible. Sous faible pression sous-glottique, en effet, le degré de contraction du thyro-aryténoïdien interne diminue notablement, et dès lors le rappel de la corde vocale est beaucoup plus sensible à la réaction amortissante du pharynx. Le passage se fait alors sous réaction plus faible, c'est-à-dire *plus tôt* en montant la gamme.

L'expérience montre que ce déplacement est normalement d'un demi-ton ou d'un ton, selon la diminution de l'intensité réalisée.

Ce dernier phénomène est particulièrement important à connaître pour l'exécution correcte des sons *filés* au voisinage des notes de *passage*.

Passages et registres de voix de poitrine dans l'émission des voyelles chantées fermées (hommes).

132. Les voyelles *fermées* sont au nombre de six ; ce sont :

é (de thé, café, blé) ;
o (de eau, hôte, peau) ;
eu (de jeu, feu, creux) ;
i ;
u ;
ou.

L'émission de ces voyelles, du point de vue du fonctionnement du couplage laryngo-pharyngien, donne lieu à des phénomènes très-différents de ceux observés sur les voyelles *ouvertes*.

Le fait principal est que, sur ces voyelles *fermées*, le *son propre* de la cavité pharyngée est normalement *plus grave* que pour les voyelles *ouvertes*, et voisin de *si*² (au lieu de *fa*³).

A cela, deux explications dont, d'ailleurs, les effets se superposent :

1° Sur une voyelle *fermée* (*é* par exemple), la cavité pharyngée est *un peu plus volumineuse* que sur la voyelle *ouverte* correspondante émise à la même hauteur (*È*, par exemple). Si, sur une même note, *ut*³ par exemple, on passe de *È ouvert* à *é fermé*, on constate, à la radiographie, que le larynx s'abaisse légèrement et que le diamètre sagittal du pharynx s'agrandit.

2° L'ouverture labiale diminue sensiblement en passant d'un son *ouvert* à un son *fermé*. Il en résulte que les sons propres bucco-pharyngés s'aggravent, et plus particulièrement celui du pharynx.

Dès lors, sur les voyelles *fermées*, dans l'émission d'une gamme ascendante, le 2° harmonique du son du larynx est renforcé par le pharynx jusque vers le *mi*² ou le *fa*², après quoi le pharynx reçoit son excitation prépondérante du fondamental laryngien, excitation qui atteint son maximum vers le *si*².

Sur le *si*², le passage s'exécute par le mécanisme déjà décrit, et le son prend toutes les caractéristiques du son *couvert*. On peut donc dire que, sur les voyelles fermées, la couverture se fait une quarte ou une quinte plus tôt que sur les voyelles ouvertes.

La modification de timbre concomitante est d'ailleurs beaucoup moins accusée que sur le *passage* correspondant des voyelles *ouvertes*, car, lors de l'émission

d'un son *fermé*, la cavité pharyngée, plus volumineuse et par conséquent *moins contractée*, possède un *amortissement plus grand* que lors de l'émission d'un son *ouvert*, circonstance qui atténue le relief du *passage*.

Ainsi donc, sur les voyelles *fermées*, on constate, dans la voix masculine dite de *poitrine*, l'existence d'un seul *passage*, voisin de *si*², donc de deux *registres* seulement.

Bien entendu, parvenu sur une voyelle *fermée* à la limite aiguë de sa voix de poitrine, le chanteur ne peut plus poursuivre la montée de la gamme qu'en modifiant son régime d'émission, c'est-à-dire en abandonnant l'accord devenu impossible du pharynx sur le larynx, pour ne plus utiliser très-sensiblement que le résonnateur buccal : il passe alors en *fausset*.

Empiètements possibles des registres l'un sur l'autre et variabilité de la hauteur optimum du passage.

133. Comme je l'ai fait observer précédemment pour les voyelles « ouvertes », les registres peuvent empiéter l'un sur l'autre, c'est-à-dire qu'un chanteur peut volontairement avancer ou retarder l'exécution du *passage* en montant une gamme sur une voyelle « fermée ». Il peut effectuer le *passage* dès le *mi*², et le retarder jusqu'au *ré*³ environ ; mais, dans ce dernier cas, la voyelle perd, dès l'*ut*³, son caractère *fermé*, et se transforme, en réalité, en la voyelle *ouverte* la plus voisine. On retombe alors vers le *ré*³ sur le *passage* aigu des voyelles *ouvertes* étudié plus haut.

Comme précédemment également, la *position optimum* du *passage* des voyelles *fermées* varie un peu avec les types de voix, pour des raisons identiques à celles indiquées au § 131, lors de l'étude des voyelles *ouvertes*. On peut fixer comme suit ces positions *optimums* en fonction des tessitures :

	PASSAGE UNIQUE, EN PASSANT DU
Basse noble	<i>sol</i> bémol ² au <i>sol</i> ²
Basse chantante et baryton . .	<i>sol</i> ² au <i>la</i> bémol ²
Fort ténor et baryton aigu . .	<i>la</i> bémol ² au <i>la</i> ²
Ténor léger	<i>si</i> bémol ² à <i>si</i> ²

J'ajoute que, en voix *piano* et *pianissimo*, les *passages* doivent normalement s'exécuter un demi-ton ou un ton *plus grave*. Toutefois, dans l'émission des voyelles *fermées*, une latitude d'exécution du *passage* beaucoup plus grande que pour les voyelles *ouvertes* est permise, sans répercussion aussi grave sur la vibration des cordes vocales, en raison du fait que le résonnateur pharyngien présente un amortissement plus considérable sur des sons *fermés* que sur des sons *ouverts*, à égalité de hauteur tonale d'émission.

Quant à la nasalisation du phénomène par abaissement mesuré du voile du palais, elle ne peut être réalisée sur une voyelle fermée. Si on la tente, le voile vient s'accoler au dos de la langue, et le son émis devient presque purement nasal. Ce phénomène paraît résulter de la pression relativement élevée qui règne, à l'intérieur du pharynx, dans l'émission des voyelles fermées. Normalement, le voile est fortement accolé à la paroi postérieure du pharynx. Si on veut l'abaisser, il résiste ; si l'on y parvient, la pression l'accrole aussitôt contre le dos de la langue, tandis que le gros du débit aérien s'engouffre dans le rhinopharynx.

DEUXIÈME CLASSE

LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUES

Observations générales.

134. J'ai montré que chaque passage étudié coïncidait, dans une tessiture masculine, avec le franchissement du son propre du pharynx par un harmonique quelconque de la fourniture laryngée (ou par le fondamental), franchissement qui produisait au niveau du larynx une réaction atteignant alors son maximum.

Ces modifications étant d'ordre mécanico-acoustique s'accompagnent bien entendu de *modifications physiologiques* étendues affectant les organes phonateurs.

Ces manifestations physiologiques, souvent prises par erreur pour la cause déterminante des *passages*, sont d'autant plus marquées, et par conséquent mieux observables, que le *passage* considéré donne lieu à une modification plus considérable du régime énergétique d'émission.

La plupart des phénomènes physiologiques observables aux passages ont été décrits plus haut, lorsqu'ils ont été rencontrés et observés. Je ne veux donc que les rappeler sommairement, mais en montrant qu'ils sont dus, par *voie de réflexes associés*, à des *excitations proprioceptives* que détermine, au niveau du larynx, la réaction exercée sur la vibration des cordes vocales par le résonnateur qui lui est couplé de façon prépondérante.

Modifications intéressant la musculature intrinsèque.

135. En ce qui concerne le passage du *la* bémol² permettant d'atteindre le premier son ouvert, les modifications corrélatives de la musculature intrinsèque du larynx ont été décrites et discutées aux §§ 16, 17, 21, 68, 110. Elles sont conditionnées par la nécessité d'accroître la force de rappel des fibres longitudinales du thyro-aryténoïdien et paraissent se limiter à l'intervention active de la partie externe de ce muscle.

Au passage du *mi*³, qui permet d'accéder aux sons couverts, les modifications sont considérables et ont

été décrites et discutées longuement aux §§ 16, 18, 20 à 23, 64 à 68, 110, 119 et 120. Elles sont conditionnées par la même nécessité que plus haut et caractérisées par l'intervention volontaire active du crico-thyroïdien.

Au passage en fausset, décrit et analysé aux §§ 16, 19, 30 et 31, 110, le sphincter glottique se décontracte et la vibration des cordes vocales présente une phase de rappel fortement altérée et une phase d'occlusion supprimée.

Le passage du *sol*² au *si*², sur les voyelles fermées, n'est pas observable au laryngo-stroboscope ordinaire, mais son analyse mécanico-acoustique (§ 132) montre qu'il doit être de nature identique à celui d'une couverture de son.

Modifications

intéressant la musculature extrinsèque.

136. Les modifications intéressant la musculature extrinsèque ne sont sensibles que sur le passage du *mi*³ et sur le passage en fausset.

Sur le passage du *mi*³ ou couverture du son, tous les auteurs, dont PIELKE, GUTZMANN, MUSEHOLD, SCHILLING, THOORIS, etc., ont bien décrits les phénomènes que j'ai analysés aux §§ 18, 21 et 68. En gros, ils conditionnent une augmentation de volume du pharynx et une décontraction partielle de ses masses musculaires pariétales.

Lors du passage en fausset, la décontraction de la musculature extrinsèque est encore plus sensible; mais le larynx remonte en raison du relâchement complet des faisceaux abaisseurs, et le pharynx diminue de volume, en général, par suite du recul de la langue dont les mouvements deviennent extrêmement instables.

Genèse proprioceptive et intéroceptive

des modifications de la statique musculaire intrinsèque et extrinsèque aux passages.

137. J'ai montré (§§ 125 et 126) qu'à chaque passage, le vibreur laryngien est soumis à un ensemble de *forces réactionnelles* à tendance discordante issues du couplage laryngo-pharyngien. Ce couplage s'exerce par l'intermédiaire des variations de pressions entretenues dans le résonnateur pharyngien, dont l'intensité et la *phase* au niveau du larynx dépendent de l'accord de ce résonnateur.

Ces forces réactionnelles modifient, à chaque instant, *le jeu des pressions qui s'exercent sur toute la surface des cordes vocales pendant leur vibration*, et modifient également, par voie de conséquence, *la façon dont les cordes vocales travaillent à chaque période*.

Or, la richesse en terminaisons nerveuses de la

muqueuse qui recouvre les cordes vocales, et le nombre élevé de ces terminaisons que les études histologiques ont découvertes à l'intérieur même du thyro-aryténoïdien interne, sont connus depuis les travaux de RETZIUS, FESSLER, SIMANOWSKY, PLOSKHO, etc. Cette richesse en terminaisons sensibles, *à la surface et à l'intérieur* des cordes vocales, permet de comprendre que les forces réactionnelles appliquées à la glotte puissent déterminer au niveau du larynx les sensations anormales et si particulières ressenties aux passages.

Bien entendu, à tout instant de la phonation, la vibration des cordes vocales détermine, dans la musculature glottique, un ensemble de sensations internes dépendant du sens musculaire, des sensations des tendons et des articulations, comme l'ont établi les travaux de GOLDSCHIEDER, LEWINSKI et DÉJÉRINE. De fait, ces sensations internes, à l'état normal, sont très-faiblement perceptibles, et le sujet les perçoit un peu mieux sous l'assourdisseur.

Mais, à la limite supérieure d'un registre, c'est-à-dire à l'approche d'un *passage*, l'entrée en jeu de forces réactionnelles intenses qui perturbent le jeu normal des pressions à la surface des cordes vocales modifie considérablement ces sensations internes de l'état normal, et augmente leur intensité. Elles sont alors fortement perçues par le sujet.

Cette différenciation nette des sensations internes perçues au niveau du larynx pendant la phonation, d'une part, à l'état normal, d'autre part, au voisinage des *passages*, peut être rapprochée des résultats des travaux de HEAD et surtout de STOPFORD. On sait que HEAD a distingué une sensibilité superficielle *épicritique*, relative aux contacts légers et aux sensations de chaleur modérée, et une sensibilité superficielle *protopathique*, qui comprend les sensations extrêmes de température et celles de douleur superficielle. STOPFORD, après avoir affirmé le caractère un peu artificiel d'une division trop tranchée entre les sensibilités cutanée et profonde, distingue cependant, à son tour, deux sortes de sensibilité profonde : l'une épicritique, et l'autre protopathique, cette dernière nous renseignant sur les sensations de pression excessive.

Les sensations internes perçues très-faiblement au niveau du larynx à l'état normal, pendant la phonation, pourraient être rapportées à la sensibilité profonde épicritique des muscles du sphincter glottique; et les fortes sensations perçues au voisinage des *passages*, à leur sensibilité profonde protopathique.

Il est juste, au surplus, de signaler le caractère un peu particulier de la *sensibilité vibratoire* appelée quelquefois *pallesthésie*. Signalée par Max EGGER, étudiée par DÉJÉRINE, PIÉRON, elle constituerait, selon KATZ, un sens spécial. Toutefois, FREY estime que les

sensations de vibration dépendent des organes des sens de la pression ; le mode d'excitation, seul, différencierait les sensations de vibration et de pression, tant superficielles que profondes. Le sens vibratoire serait une étape du développement qui conduit du toucher à l'ouïe.

Quoi qu'il en soit de leur nature exacte, les sensations internes perçues au niveau du larynx, au voisinage des passages, constituent, selon nous, des *excitations proprioceptives* transmises aux centres médullaires, cérébelleux et corticaux, de la phonation. Ces centres, à leur tour, déclenchent, par la voie sympathique ou par les voies motrices ordinaires, des modifications *réflexes* de la chronaxie de subordination des différents muscles intrinsèques et extrinsèques du larynx. Par le jeu de cet *aiguillage chronaxique*, établi dans son principe par les travaux de M^{me} & L. LAPICQUE, se règlent les variations de l'innervation motrice des différents muscles intrinsèques et extrinsèques, et par conséquent s'établissent et se coordonnent les mouvements musculaires qui surviennent au moment des passages.

Les modifications qui ont leur siège dans la musculature intrinsèque et extrinsèque, au moment des passages, et tout particulièrement dans les thyro-aryténoïdiens internes, s'interpréteraient donc comme étant des *réflexes proprioceptifs* admettant, comme stimulus initial, les actions mécaniques exercées au niveau de la glotte par les *forces réactionnelles* issues de la réaction du pharynx sur le vibreur laryngien, au moment où cette réaction passerait par un maximum, c'est-à-dire précisément aux passages.

En vue de vérifier cette hypothèse, j'ai institué les expériences décrites aux §§ 63 à 68, dans lesquelles le passage du *mi*³ était étudié avec une cocaïnisation profonde du thyro-aryténoïdien interne. Les sensations ressenties dès le *ré*³ étaient supprimées, et le passage ne s'exécutait plus de façon réflexe. Il fallait, pour le réaliser, l'effectuer *volontairement*, et par une action volitive intense. Au surplus, l'exécution du passage du *la bémol*² était déjà perturbée, et, entre le *la bémol*² et le *mi*³, le caractère ouvert des sons était altéré par un blanchissement du timbre traduisant une diminution de la durée de la phase d'occlusion (celle-ci évidemment consécutive à un affaiblissement du rappel dû à la cocaïnisation).

Mais les expériences ci-dessus ont montré également autre chose : c'est que l'exécution réflexe des deux passages était déjà atteinte par une cocaïnisation du pharynx. La stimulation aux passages a donc déjà une incitation intéroceptive pharyngée au moins partielle, ce qui est à rapprocher du fait que le pharynx est innervé par le laryngé supérieur, nerf sensitif dont un rameau, le laryngé externe, contient cependant les fibres motrices du crico-thyroïdien.

Les passages, actes réflexes susceptibles
d'une exécution volontaire
et d'un conditionnement automatique.

138. Lorsqu'une voix inculte, montant la gamme sur une voyelle *ouverte*, exécute d'elle-même un *passage* (sur une note en général trop aiguë), il s'agit sûrement d'un *réflexe véritable* ne faisant intervenir vraisemblablement que les centres phonateurs du cervelet, « head ganglion » du système proprioceptif, selon l'expression de SHERRINGTON, centres mis en évidence expérimentalement par KATZENSTEIN & ROTHMANN.

Lorsqu'un chanteur, émettant la même gamme, exécute *volontairement* le « passage » un peu *avant* sa position *optimum*, c'est-à-dire en un endroit de l'étendue vocale où les incitations réactionnelles proprioceptives sont insuffisamment intenses pour déclencher le « passage », l'acte réflexe a fait place à un ensemble de *mouvements volontaires synergiques*, suivant la brillante classification de R. HUNT, dont l'incitation part de l'aire corticale motrice correspondante. Lorsque le même chanteur, au contraire, *retarde volontairement* l'exécution d'un *passage* (par exemple *ouvre* jusqu'en haut) en résistant, par conséquent, aux incitations proprioceptives laryngées, il s'agit d'un phénomène d'*inhibition de réflexe* par la volonté, dont de nombreux exemples sont bien connus.

Enfin, lorsqu'un chanteur *éduqué* exécute le *passage* immuablement et automatiquement sur la même note *optimum*, sans aucunement faire agir sa volonté, et même en l'absence de tout contrôle auriculaire, il s'agit de *mouvements automatiques associés* dont la *coordination est acquise*, constituant dans leur ensemble un réflexe méso-céphalique ou cortical (DUMAS). A ce stade, l'acte réflexe a été plus ou moins considérablement discipliné par l'intervention de la volonté dans la période éducative, par le jeu connu d'inhibitions et de facilitations.

Modifications des phénomènes dissipatifs
et pallesthésiques aux passages.

139. Chaque *passage* est accompagné d'une modification nette des sensations perçues par le sujet pendant la phonation, et chaque *registre* comporte en moyenne une *certaine localisation des sensations* qui lui est caractéristique.

Ces sensations, particulières à chaque registre, s'expliquent sans difficulté lorsqu'on examine la façon dont se *dissipe* l'énergie mécanique mise en jeu dans la vibration des cordes vocales au cours des différents actes successifs de la phonation. Seule, une petite partie de l'énergie mécanique développée au niveau du larynx prend la forme vocale, et se transmet à l'auditeur par une onde progressive aérienne. Le reste alimente une

foule de *phénomènes « parasites »* perçus par le chanteur sous la forme de sensations diversement localisées, et parmi lesquels les plus importants sont :

1° Le relancement de l'air trachéal, par « coups de béliers » à la fréquence du ton de la voix. C'est l'origine du *fremitus pectoralis* de TONNDORF, phénomène normal et général, mais qui peut se modifier en cas d'altérations pathologiques ou de dysfonctionnement des organes phonateurs.

2° La transmission d'énergie vibratoire au squelette thoracique et facial, par l'intermédiaire du système musculaire et ligamenteux qui relie les cartilages du larynx au squelette.

3° L'ébranlement des parois des cavités, lorsqu'elles sont le siège de phénomènes de résonnance suffisamment accusés.

Or l'analyse énergétique des conditions du couplage dans les différents registres ou régimes d'émission explique immédiatement les sensations ressenties pendant la phonation :

a) *Voix de poitrine*. — Le régime d'émission est caractérisé par un fort couplage laryngo-pharyngien, avec forte réaction sur le larynx. En conséquence : sensations fort accusées dans les régions pharyngiennes et thoraciques, avec une déperdition naso-faciale faible (qui devient plus importante dans les sons nasalisés, bien entendu).

Dans chaque registre de la voix de poitrine, le *fremitus pectoralis* diminue lorsque le larynx s'élève, tandis que croissent les sensations bucco-pharyngées. Si le larynx descend, c'est la transmission au thorax qui est facilitée, tandis que les sensations bucco-pharyngées diminuent d'intensité. Ces rapports de transmission ne dépendent nullement du fait que l'on monte ou descend la gamme. Si l'on monte la gamme en descendant son larynx, par exemple, ce qui n'est pas rare dans le chant théâtral, ce sont les sensations thoraciques qui croissent peu à peu.

Quant à l'ébranlement communiqué aux parois du pharynx, et ressenti à leur niveau, il est maximum dans le registre aigu (renforcement du fondamental *intense*), et minimum dans le registre grave (renforcement du 3^e harmonique *moins intense*). De plus, à l'intérieur de chaque registre, il est maximum sitôt après le *passage* et diminue un peu en montant la gamme (l'accord du résonnateur devenant moins bon).

b) *Voix de fausset*. — Le régime d'émission est caractérisé par une cavité pharyngée qui *ne joue plus le rôle d'un résonnateur*, et par un couplage laryngo-buccal faible, qui n'exerce plus qu'une faible réaction sur le larynx (d'ailleurs partiellement décontracté). En conséquence : sensations pharyngiennes et thoraciques quasi nulles, tandis que s'accroissent les sensations naso-faciales et crâniennes.

Modifications intéressant l'activité expiratrice et le mode inspiratoire.

140. A chaque changement de *registre*, les modifications musculaires qui ont lieu atteignent, non-seulement le sphincter glottique et sa musculature extrinsèque, mais aussi les actions musculaires expiratrices, c'est-à-dire le *type respiratoire* utilisé.

Dans son ouvrage sur la physiologie de la voix, NADOLECZNY mentionne que SCHILLING a observé un rapport entre la couleur de la voyelle et le type respiratoire : l'assombrissement du timbre rendait la respiration plus fortement abdominale. Ce phénomène, nettement observable en effet, était rapporté par l'auteur, non pas à un phénomène d'origine phonatoire, mais à des causes purement psychiques.

Pour ma part, chez les voix correctement émises, c'est-à-dire dont le couplage laryngo-pharyngien ou laryngo-buccal fonctionne dans les conditions *optimums* définies plus haut, j'ai toujours observé que le mode respiratoire était *d'autant plus abdominal que la réaction du résonnateur sur le larynx était forte*.

Ainsi, la part d'activité expiratrice dévolue à la sangle abdominale :

1° est plus grande en voix de poitrine qu'en fausset;

2° est plus grande, dans chaque régime de phonation (voix de poitrine ou fausset), dans les registres aigus (l'harmonique renforcé est plus intense, donc la réaction sur le larynx est plus forte);

3° est plus grande, au sein d'un même registre, quand l'accord sur le son du larynx est meilleur (la réaction est plus forte).

Je pense que la cause de ce phénomène n'est nullement psychique, mais résulte des coordinations musculaires mises en jeu pour l'obtention de pressions sous-glottiques données. *Plus la réaction du résonnateur sur le larynx est forte, plus grande est la pression sous-glottique nécessaire pour entretenir la vibration des cordes vocales (puisque la réaction est amortissante); donc plus grande est la participation abdominale, qui donne un volume d'air disponible supérieur à la participation thoracique, comme il est bien connu.*

Sur la voix mixte.

141. Deux mots s'imposent ici sur la *voix mixte* que, faute d'une étude suffisante, certains auteurs décrivent comme un type de voix particulier intermédiaire entre la voix de poitrine et la voix de fausset, et dont d'autres font un registre particulier.

Son observation montre que, pendant son émission :

1° Les thyro-aryténoïdiens internes sont contractés. Elle rentre donc dans la catégorie des sons de poitrine, à fort couplage laryngo-pharyngien.

2° Le crico-thyroïdien est lui-même contracté. Elle est donc analogue aux sons émis, soit dans le registre couvert (voyelles ouvertes), soit dans le registre supérieur relatif aux voyelles fermées. Le pharynx y renforce le fondamental laryngien (avec un accord plus ou moins bon, évidemment).

3° La voix mixte ne comprend que les sons émis à intensité mesurée : *mezzo-forte*, *piano* ou *pianissimo*.

En raison de ces trois caractères, elle a un timbre doux, arrondi et couvert, tout à fait caractéristique.

En fait, du point de vue physiologique, elle est constituée par des sons du registre couvert, mais, d'une part, émis avec une faible pression sous-glottique et, d'autre part, émis avec couverture dans des régions tonales étendues vers le grave, en-dessous de la limite ordinaire du ré³-fa³.

J'ajoute qu'au cours de séances ayant eu lieu en février et mars 1950, sur l'initiative de M. FRANCEL, professeur au Conservatoire de Paris, ayant rassemblé, en outre, MM^{mes} MAGNE, DRATZ-BARAT et DAULY, membres du bureau de l'Union, et moi-même, les quatre artistes cités ont été d'accord pour qualifier la voix mixte de « voix de poitrine diminuée en intensité ». Cette définition est correcte, mais précisons qu'au surplus les sons émis sont en général couverts.

Importance exceptionnelle des passages dans la physiologie de la voix chantée.

142. Les considérations qui précèdent, et qui font suite aux travaux de TONNDORF et de D. WEISS, ne laissent plus de doute sur la véritable nature des passages de la voix et la genèse des différents registres.

Les « passages » sont des phénomènes *normaux* et *inévitables*, résultant de ce que nos résonateurs n'ont pas la possibilité de modifier leur volume dans des limites suffisantes pour demeurer accordés, sur une gamme parcourant trois octaves, toujours sur le même harmonique du son du larynx. Le numéro d'ordre de l'harmonique renforcé varie *nécessairement* en certains points de la tessiture, et il en résulte, aux moments précis où une cavité quelconque est relancée au maximum par un partiel quelconque de la fourniture laryngée, une réaction plus ou moins marquée sur la vibration excitatrice, qui se traduit à ces hauteurs tonales particulières par un ensemble de phénomènes phonétiques et physiologiques, observés depuis longtemps, qui sont les *passages* de la voix.

Ces *passages* sont donc des manifestations *normales* et *inévitables* du couplage constitué par le vibrateur laryngien et le résonateur pharyngo-buccal qui lui est associé.

Quant aux *registres*, ils sont constitués par des ensembles de notes conjointes pour lesquelles le couplage « larynx + résonateurs » fonctionne dans des conditions mécaniques et énergétiques identiques.

L'exécution des *passages*, dans le chant, est une condition *absolument nécessaire* du bon fonctionnement des organes phonateurs. Leur non-exécution entraîne tôt ou tard une série de troubles fonctionnels graves susceptibles de créer secondairement des altérations du vibrateur : myopathies laryngées, dyskinésies, nodules. La genèse de ces troubles est analysée en détail au § 126, et les phénomènes décrits aux §§ 82 et 83 (expériences de WEISS, avec assourdisseur) en donnent une illustration expérimentale directe.

Il importe d'ailleurs de faire observer qu'il ne suffit pas, pour un chanteur, d'exécuter les *passages n'importe quand* et *n'importe comment*. Ceux-ci doivent être exécutés à leur *hauteur tonale optimum* (surtout l'important *passage* du *mi*³ pour les hommes) et au surplus de *façon correcte*.

Ainsi, par ordre d'importance, les règles suivantes peuvent être formulées :

1° Les *passages* doivent être *exécutés*; leur non-exécution constitue la manœuvre anti-physiologique qui présente le danger maximum.

2° Ils doivent être exécutés à leurs *hauteurs tonales optimums*, et surtout ne pas être retardés (voyelles *ouvertes* sur des notes trop aiguës).

3° Ils doivent enfin être exécutés *de façon correcte*. Toutefois, il est toujours infiniment préférable de *mal faire un passage* que de *ne pas le faire du tout*, et le cas se présente de façon générale au début des études vocales des chanteurs : en l'absence de coordinations acquises, le *passage* du *mi*³, pour les hommes, s'effectue souvent avec une certaine rudesse et un changement de timbre assez marqué, surtout chez les voix graves.

L'expérience montre qu'une éducation vocale *correcte* parvient, après un nombre suffisant d'années de travail, à bien atténuer le changement de timbre caractéristique des *passages*. Plus difficile et plus longue à obtenir chez les voix graves (basses, contraltos), cette atténuation s'obtient plus facilement chez les voix légères (ténors légers, sopranos légers).

Bien entendu, cette atténuation ne signifie pas que le *passage ne s'effectue plus*, ou s'effectue avec une *intensité moindre*, mais simplement qu'il est devenu *acoustiquement moins apparent*.

Comme l'a indiqué D. WEISS, cette atténuation acoustique des *passages*, au moment où un résonateur donné (pharynx ou bouche) renforce au maximum un harmonique de la fourniture laryngée ou le fondamental lui-même, est essentiellement un problème d'*amortissement* du résonateur en question. Plus l'amortissement du résonateur est grand, moins accusé sera le *passage* au point de vue du changement de timbre.

Mais l'atténuation acoustique des *passages* résulte également de l'acquisition, par le sujet, de nouvelles coordinations intéressant la musculature *intrinsèque* et *extrinsèque* du larynx.

L'éducation vocale intervient, en effet, dans l'éducation progressive des *passages*, de façon à transformer un *réflexe proprioceptif* relativement *fruste*, qui déclenche des actions musculaires plus ou moins bien coordonnées, en un ensemble de *mouvements automatiques associés* beaucoup plus finement coordonnés. Au surplus, par voie orthophonique, on modifie considérablement les sensations ressenties au niveau du larynx aux environs de chaque *passage*; modifiant les incitations, on modifie également les coordinations musculaires mises en jeu et les automatismes déclenchés.

L'atténuation progressive des passages, qui conditionne l'égalisation des registres, — pièce maîtresse de l'éducation de la voix chantée —, résulte donc :

1° de l'acquisition d'automatismes musculaires et de coordinations nerveuses plus finement différenciées, relatives à la musculature intrinsèque et extrinsèque du larynx ;

2° cette acquisition et ces coordinations permettent secondairement une amélioration des conditions mécaniques du couplage « larynx + cavités sus-glottiques » par une appropriation convenable en forme, volume et amortissement, desdites cavités ;

3° cette appropriation conditionne des sensations internes particulières, et c'est la recherche de celles-ci qui, par la suite, déclenche les automatismes acquis par l'éducation, par l'effet de stimulations intéro- et proprioceptives pharyngo-bucco-laryngées issues des impédances réalisées à ces niveaux (§ 126).

En conclusion : définition des passages et des registres de la voix chantée (hommes et femmes).

143. Je terminerai ce chapitre en donnant des *registres* et des *passages* la définition physiologico-acoustique suivante, qui précise celle de GARCIA (1847) :

« Les registres de la voix humaine sont des suites de notes consécutives caractérisées par des conditions mécaniques données et identiques du couplage constitué par le larynx et le résonnateur pharyngo-buccal. Ces conditions sont :

» 1° la cavité utilisée comme résonnateur essentiel (pharynx ou bouche) et la fréquence de son « son propre » ;

» 2° le numéro d'ordre de l'harmonique du son laryngien qu'elle renforce ;

» 3° son amortissement.

» Dans la voix de poitrine, le résonnateur essentiel est le pharynx ; c'est la cavité buccale en voix de fausset pour les hommes et sur presque toute l'étendue de la voix pour les femmes.

» Un passage a lieu lorsque le son propre du résonnateur le plus étroitement couplé au larynx coïncide

avec le fondamental de la fourniture laryngée ou avec un de ses harmoniques, ou bien lorsqu'une cavité se substitue à une autre au titre de résonnateur essentiel couplé au larynx.

» Les passages des voyelles ouvertes sont différents de ceux des voyelles fermées, car les conditions du couplage sont différentes dans les deux cas.

» Tout passage peut être avancé ou retardé, par rapport à sa hauteur tonale *optimum*; certains sons peuvent ainsi être émis dans deux et même trois registres différents, bien entendu avec des timbres et des intensités différentes.

» Les hauteurs tonales *optimums* de chaque passage, sur les voyelles ouvertes ou fermées, varient un peu avec les tessitures, l'intensité de l'émission, et le degré de nasalisation de la voyelle, et d'une façon générale avec toute cause susceptible de modifier les conditions du couplage (adjonction de tubes prébuccaux, par exemple).

» Physiologiquement, les passages sont des actes réflexes, que la volonté peut inhiber ou faciliter. Leur stimulus initial est constitué par des excitations proprioceptives, au niveau des cordes vocales, qui résultent de la réaction exercée par le résonnateur sur la vibration de celles-ci. Ces réflexes déclenchent des manifestations musculaires à la fois intrinsèques, qui modifient le mode vibratoire des cordes vocales, et extrinsèques, qui modifient l'adaptation et l'amortissement du résonnateur à l'harmonique excitateur.

» Il en résulte que chaque registre est caractérisé par un mode propre de vibration des cordes vocales, et par une adaptation particulière de la musculature extrinsèque, donc par une couleur particulière de la voyelle émise.

» L'énergie vibratoire transmise au squelette se répartit inégalement, dans chaque registre, aux différentes parties de la charpente osseuse. Il en résulte que les sensations vocales se localisent différemment suivant les registres.

» Le mode respiratoire diffère également, suivant chaque registre, en fonction de la pression sous-glottique et du débit exigés par l'entretien de la vibration des cordes vocales et par l'impédance ramenée au niveau du larynx.

» Le passage d'un registre dans un autre est d'autant moins accusé pour l'oreille que le résonnateur relancé est plus amorti, et que les actions musculaires déclenchées à cet instant sont plus finement différenciées et coordonnées, conditions que l'éducation vocale peut améliorer progressivement si elle est bien conduite.

» L'exécution correcte des passages à leurs hauteurs tonales *optimums* est un impératif catégorique de l'émission correcte de la voix chantée; elle domine, et de haut, tous les problèmes posés par l'éducation, la pédagogie, et le développement de la voix chantée. »

CONCLUSIONS

LES FAITS NOUVEAUX APPORTÉS PAR LE PRÉSENT TRAVAIL

144. Les *faits nouveaux* apportés par le présent travail intéressent trois chapitres fondamentaux de la phonation :

- 1° La physiologie de la vibration des cordes vocales.
- 2° Le fonctionnement mécano-acoustique et physiologique du couplage du larynx et des résonnateurs sus-glottiques.
- 3° La triple régulation extéro-, intéro- et proprioceptive de la voix chantée.

Je les énumère ci-dessous de façon résumée.

Sur la physiologie de la vibration des cordes vocales.

145. *1^{er} fait.* — Il a d'abord été établi que l'*adduction* et la *vibration* des cordes vocales étaient deux actes *indépendants* : il peut y avoir adduction sans vibration et vibration sans adduction. La maladie peut dissocier ces deux actes : il y a des paralysies de l'adduction sans atteinte de la vibration et des paralysies de la vibration sans atteinte de l'adduction. L'adduction relève de la physiologie respiratoire du larynx, tandis que la vibration des cordes vocales n'intéresse que la physiologie phonatoire du larynx.

2^{me} fait. — La vibration des cordes vocales n'est pas un phénomène purement périphérique résultant d'un conflit d'ordre élastique au niveau du larynx entre les forces qui y sont appliquées et qui s'y développent. La fréquence de la vibration est celle de l'influx rythmique qui sillonne le récurrennt en provenance des centres. Cet influx détermine, à chaque période, la contraction tétanique des fibrilles transversales du thyro-aryténoïdien, contraction qui décolle les deux cordes vocales et amorce la phase d'ouverture ; la pression sous-glottique qui s'insinue entre les deux cordes achève de les écarter. Leur rappel est conditionné par la tension des fibres longitudinales et l'élasticité née de leur contraction. Les fibrilles transversales sont vraisemblablement en état de tétanos ondulé. La vibration des cordes vocales cesse, au sommet de la tessiture, soit parce que le tétanos est aplati, soit parce que la fibrillation transversale est devenue

insuffisante pour rompre l'accolement glottique, en raison de la contraction du sphincter crico-thyro-aryténoïdien.

Le larynx est donc un oscillateur fortement amorti, quasi apériodique, relancé *in tempo*, de la stimulation rythmique récurrentielle.

3^{me} fait. — Des observations laryngo-stroboscopiques nombreuses et variées, échelonnées sur plusieurs années, ont permis de dresser une morphologie complète de la vibration des cordes vocales : modes vibratoires normaux (voix de poitrine ouverte, voix de poitrine couverte, voix de fausset), modes paranormaux et modes pathologiques. La genèse détaillée de chacun de ces modes a été analysée.

En ce qui concerne les modes normaux, leur étude systématique a été faite :

- a) La pression sous-glottique variant seule.
- b) La hauteur variant seule (sur toute l'échelle vocale).
- c) Le timbre vocalique variant seul.
- d) Puis, sur certains points plus particuliers : phase de rappel, phase de fermeture, profondeur de l'accolement, composante verticale, etc.

4^{me} fait. — Les troubles de la fréquence et les troubles de l'amplitude ont été dissociés, et rapportés chacun à leur étiologie exacte, centrale pour les premiers, périphérique pour les seconds.

5^{me} fait. — Les conditions précises de la vibration des cordes vocales en *voix de poitrine* (ouverte ou fermée) et en *voix de fausset* ont été comparativement étudiées et analysées, sur toute l'échelle vocale.

Il a notamment été établi que, en fausset, la corde vocale vibre toujours dans toute sa masse, mais sans que le thyro-aryténoïdien interne soit contracté. Le rappel de la corde est affaibli et plus lent, et la phase d'ouverture qui suit survient avant que la glotte ne soit fermée de nouveau. Il n'y a pas de « composante verticale », *stricto sensu*, mais redressement constant du bord libre par le jet d'air glottique.

6^{me} fait. — La genèse du timbre glottique a été établie, tant par l'observation que par la théorie : le *mordant* ou *éclat* de la voix est conditionné par la durée et la fermeté de la phase d'occlusion de la glotte, et, bien entendu, par tous les facteurs secondaires qui influent sur celles-ci. Applications physiopathologiques évidentes.

Sur le fonctionnement mécano-acoustique et physiologique du couplage du larynx et des résonnateurs sus-glottiques.

146. 7^{me} fait. — Il a été établi que le vibreur laryngien et les cavités sus-glottiques formaient un système assez étroitement couplé. Les états résonnants développés au sein de ces dernières réagissent sur la vibration des cordes vocales en augmentant l'impédance au niveau des cordes vocales. La hauteur n'est altérée que dans certaines conditions seulement, car elle est fixée par le rythme des influx récurrentiels. Mais l'amortissement dû à l'impédance modifie le rappel des cordes et la phase d'occlusion, donc agit sur le timbre laryngien ; il modifie également le débit glottique et le mode respiratoire. La réaction impédantielle est maximum lorsque la bouche ou le pharynx, ou les deux, accrochent un état de résonnance sur un harmonique quelconque de la fourniture laryngée (ou sur le fondamental).

La réaction impédantielle n'est défavorable qu'au-dessous et au-dessus de certaines limites.

8^{me} fait. — Le rôle phonatoire des cavités nasales a été étudié. Il a été notamment montré que, pendant le chant, l'abaissement du voile du palais, si faible soit-il, accroît l'impédance ramenée au niveau du larynx dans d'énormes proportions, et peut aller jusqu'à bloquer la vibration des cordes vocales.

Il est à remarquer que, même lorsque le voile est relevé, une forte part d'énergie vibratoire se dissipe toujours dans le massif osseux cranio-facial et y détermine les sensations pallessthésiques localisées à cette région : l'abaissement du voile du palais en est indépendant.

9^{me} fait. — La genèse des passages de la voix chantée a été expliquée, ainsi que leur physiologie détaillée intrinsèque et extrinsèque. Ils se produisent lorsqu'un harmonique de la fourniture laryngée coïncide avec le son propre du pharynx, ce qui arrive nécessairement au moins deux fois dans l'échelle vocale masculine. A ce moment, l'impédance détermine dans le pharynx et au niveau du larynx une stimulation intéro- et proprioceptive qui déclenche des modifications réflexes appropriées de la statique

musculaire intrinsèque et extrinsèque. Ces réflexes peuvent être inhibés par la volonté, supprimés par la cocaïnisation, remplacés par des actions volontaires, et remplacés aussi par des actes automatiques associés à des déclenchements conditionnels divers.

L'étude des différents registres en résulte, chacun avec son conditionnement mécano-acoustique, physiologique et phonétique.

Importantes conséquences normatives (pédagogiques et physio-pathologiques).

Sur la triple régulation extéro-, intéro- et proprioceptive de la voix chantée et l'importance particulière de ces deux dernières.

147. 10^{me} fait. — Dans la voie chantée, la fréquence du son est commandée par celle des influx récurrentiels, et ceux-ci admettent une origine de niveau cortical. La régulation de cette pulsation est directement liée à l'activité des centres auditifs. Par l'assourdissement expérimental ou la cophose, le sujet détone, mais la régulation reparaît avec un effort suffisant de représentation psycho-auditive de la hauteur tonale.

Dans la parole ordinaire, et chaque fois que le sujet se désintéresse de la hauteur tonale, la fréquence de la vibration laryngée devient fluctuante. Son conditionnement n'est plus cortical, mais de niveau inférieur, quoique demeurant bulbaire ou de niveau supérieur au bulbe.

11^{me} fait. — Si la régulation de la hauteur tonale et de l'intensité, dans le chant, se fait par l'oreille, il n'en est pas de même pour le timbre des sons et la qualité de leur émission.

Il a été établi que la régulation de ces deux caractères se fait par voie intéro- et proprioceptive, sur la base de certaines des sensations internes du sujet, localisées et appréciées par lui avec une grande précision. Le stimulus est donné par les variations de l'impédance laryngée et les actions mécaniques diverses nées des états résonnants pharyngo-buccaux. La régulation est en général réflexe : celle des passages et des registres en est un cas particulier typique. Mais elle est susceptible d'inhibition et de déclenchement volontaires, et aussi de dressage et d'automatisation. Du point de vue normatif, dans le chant, elle est considérablement plus importante que la régulation auriculaire, car elle tient sous sa dépendance l'impédance laryngée et, par celle-ci, le conditionnement de la vibration des cordes vocales et leur intégrité fonctionnelle.

Cette régulation intéro- et proprioceptive du couplage laryngo-pharyngo-buccal particularise puissamment la physiologie de la voix chantée, et la sépare nettement de la physiologie de la voix parlée.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTHON (W.): *Passow-Schaefers Beitr.*, Bd. 20, 1926, S. 249-258.
- AUGER (L.): *Oscillations auto-entretenues dans les tuyaux sonores à anches battantes*. Thèse Fac. Sc. Paris, 1943.
- BERGER (W.): *Phonetische Untersuchungen über die Gutzmannsche Drückprobe (mit Klanganalysen)* (*Zeitschr. f. L.-R.-O.*, 1931, B. 21, H. 6, S. 498).
- BONNIER (P.): *La formation des voyelles et la théorie aérodynamique* (*Soc. de Biologie*, 3 mars 1900).
- Les erreurs de la théorie classique de la phonation (*La revue scientifique*, 25 oct. 1902).
- Une théorie de la voix (*La revue scientifique*, 18 juillet 1903).
- Le branle vocal (*Ann. des maladies de l'oreille*, juillet 1903).
- La théorie de GUILLEMIN (*Arch. intern. de laryngol.*, mai 1905).
- La voix, sa culture physiologique*. Conférences faites au Conservatoire de Paris. Alcan, Paris, 1907.
- La voix professionnelle*. Larousse, Paris, 1908.
- CANUYT (G.): *La méthode des coupes radiographiques appliquée à la phonation* (en collaboration avec GUNSETT et GREINER) (*Revue franç. de phoniatrie*, n° 23, juillet 1938). *Ibid.*, n° 27, juillet 1939 (par les mêmes auteurs).
- CUVIER: *Leçons d'anatomie comparée*. Paris, 1807.
- DÉJÉRINE: *Sémiologie des affections du système nerveux*. Masson, édit.; Paris, 1914.
- DEQUEVAUVILLER: *Mémoire manuscrit conservé dans les archives de l'Académie des sciences*. Paris, 1840.
- DUMONT (D^r P.): *Étude chronaximétrique sur le larynx*. Thèse Fac. Sc. Paris, 1933 (Vigot, édit.; Paris).
- EGGER (M.): *De la sensibilité osseuse* (*Journal de Physiol. et de Pathol. générales*, 1, 1899, p. 511).
- EWALD (J. R.): *Die Physiol. d. Kehlkopfes u. d. Luftröhre. Stimm- und Sprachbildung*. [Hand. d. Laryng. u. Rhinol., von HEYMANN, 1, S. 165. Wien, 1898].
Zur Konstruktion von Polsterpfeifen (*Pflügers Arch. f. ges. Physiol.*, 152, 1913, S. 171).
- FAVARD (J.): *Leçons sur les fonctions presque périodiques*. Gauthier-Villars, édit.; Paris, 1931.
- FESSARD (A.): *Propriétés rythmiques de la matière vivante* (*Act. Scient. et Industr.*, Hermann, édit.; Paris, 1936).
- FESSLER: *Über Bau und Innervation des Larynxepithels* (*Mitt. d. morphol.-physiol. Ges. zu München*, 17, VI, 1883).
- FREY (VON): *Untersuchungen über die Sinnesfunktionen der menschlichen Haut* (*Abhandl. d. k. sächs. Gesellschaft d. Wissensch.*, 1896).
- FREY und KIESOW: *Über die Funktion der Tastkörperchen* (*Zeitschr. f. Psych.*, 20, 1899, S. 126).
- GARCIA: *Mémoire sur la voix humaine* (présenté à l'Acad. des sciences, en 1840). Paris, 1847.
- Recherches sur la voix humaine (*C. R. Ac. Sc.*, 1^{er} sem. 1861, p. 654).
Beobachtung über die menschliche Stimme. Braumüller, Wien, 1878.
- GLOVER (J. & H.): *Encyclopédie de la Musique*, 2^e partie, pp. 761-870. Delagrave, édit.; Paris, 1924.
- GOLDSCHIEDER: *Gesammelte Abhandlungen*. Barth, édit.; Leipzig, 1898.
- GREINER (G.-F.): *La tomographie du larynx*. Thèse Fac. Méd. Strasbourg, 1938. [Voir CANUYT.]
- GRUTZNER (P.): *Physiologie der Stimme und Sprache. Handbuch der Physiologie von D^r L. HERMANN*, 1, 2^e partie, 1879. Vogel, Leipzig.
- GUILLEMIN: *Génération de la voix et du timbre*. Alcan, Paris, 1904.
- GUNSETT: Voir CANUYT.
- GUTZMANN (H.): *Physiologie der Stimme und Sprache*. 1^{re} édit., 1909; 2^e édit., 1928. Braunschweig.
- Die Photographie der Sprache, usw.*, Berlin klin. Wochenschr., 33, 1896, S. 413.
- Über der Tonhöhe der Sprechstimme (*Monatsschr. f. Sprachheilk.*, 1906).
- Untersuchungen über Bewegungsvorgänge und Klänge der Polsterpfeifen mit Bezug auf die menschliche Stimme (*Mit 21 Abb. im Text*) (*Zeitschr. für Laryng.-Rhinol.-Otol. und ihre Grenzgebiete*, B. 24, H. 5-6, 1933, S. 401-425, Curt Kabitzsch, Leipzig).
- HAHN (R.): *Modificazione delle curve pneumografiche per l'azione di anestetici applicati nell naso e nella laringe* (*Archivio Italiano O.-R.-L.*, vol. 25, fasc. 4 et 5 (33 pages), 1914).
- HALA (B.): *L'emploi de la cinématographie pour l'exploration de la voix humaine* (en collaboration avec L. HONTY) (*Rev. Inter. du Cinéma Éducateur*, Mars 1932, S. d. N., édit.; Rome).
- HEAD: *Studies in Neurology*. Oxford University Press., 1920.
- HEGENER (J.): *Vox med.*, Berlin, 1914, S. 1-10.
- HELMHOLTZ: *Die Lehre von den Tonempfindung* (5^e édit.; 1913).
- HENLE: Cité par MUSEHOLD.
- HEYMANN (OTTO): *Die Stroboskopie im Dienste der Laryngoskopie* (*Archiv. f. Ohren, Nasen- und Kehlkopfheilk.*, B. 136, H. 1/2 1933, S. 64-116).
- HOAGLAND: (*J. of. gener. Ps.*, VI, 2, 1932, p. 276-295).
- HONTY: Voir HALA.
- HUNT (R.): *The static and kinetic systems of motility* (*Arch. of. Neurol. and Psychiatry*, 3, 1920, p. 353).
- Théorie statosynergique de la fonction cérébelleuse (*Rev. Neurol.*, 2, 1927, p. 445).
- HUSSON (R.): *Principe de l'accord vocal, ou contribution à l'élaboration d'une théorie de l'émission normale de la voix chantée, et synthèse du mécanisme vocal correspondant* (en collaboration avec A. LABRIET) (*C. R. Ac. Sc.*, 180, 1925, p. 1680).
- Principes d'éducation vocale par la réalisation de l'accord vocal (en collaboration avec A. LABRIET) (*C. R. Ac. Sc.*, 181, 1925, p. 358).
- Analyse expérimentale et synthèse explicative des passages de la voix chantée dans la théorie de l'accord vocal (en collaboration avec A. LABRIET) (*C. R. Ac. Sc.*, 184, 1927, p. 342).
- Contribution à l'étude de l'émission vocale normale (en collaboration avec LABRIET) (*Mémoire présenté à l'Ac. Sc.*, Paris, 1927, vol. in-8° de VII-149 p., Stockert, édit.; Nancy. Labriet, seul dép., Nancy).
- La réaction du résonnateur pharyngien sur les cordes vocales pendant la phonation (*Société franç. de phoniatrie*, 1932).
- La mécanique des cordes vocales dans la phonation (44 p., 28 fig.) (en collaboration avec le D^r TARNEAUD) (*Revue de laryngologie Portmann*, n° 8, 1932; Delmas, édit.; Bordeaux).
- Réaction du résonnateur pharyngien sur la vibration des cordes vocales pendant la phonation (*C. R. Ac. Sc.*, Paris, 196, p. 1535, 1933).
- Étude théorique et expérimentale de la réaction du résonnateur pharyngien sur la vibration des cordes vocales pendant la phonation (62 p., 4 fig.) (*Revue franç. de phoniatrie*, 1, fasc. 2, 1933. Bière, édit.; Bordeaux).
- L'énergétique vocale (40 p. env.) (*Communication au 1^{er} congrès de la Société italienne de phoniatrie et de phonétique biologique*; Bolzano, 1933).
- Les phénomènes réactionnels de la voix: étude physique, physiologique et pathologique (60 p.) (en collaboration avec le D^r TARNEAUD) (*Revue franç. de phoniatrie*, 1, fasc. 4, 1933; Bière, édit.; Bordeaux).
- Rôle phonatoire du rhino-pharynx, des fosses nasales et des sinus (46 p. et 2 fig.) (*Revue franç. de phoniatrie*, 2, fasc. 7, 1934; Bière, édit.; Bordeaux).

- Étude descriptive et causale des passages et des registres de la voix humaine (*Société franç. de phoniatrie*, 1934).
- Rôle de la fourniture laryngée dans la formation du timbre des voyelles parlées et chantées, et genèse des passages et des registres de la voix (*C. R. Ac. Sc.*, 200, p. 1630, 1935).
- La phonation : quelques aspects énergétiques des principaux phénomènes acoustiques et dissipatifs (30 p., avec bibliographie) (*Revue franç. de phoniatrie*, 4, fasc. 13, 1936; Maloine, édit.; Paris).
- Théorie neuro-chronaxique de la vibration des cordes vocales (*Société franç. de phoniatrie*; Paris, 1936).
- Principes de métrologie psychologique (82 p., préface J. M. LAHY) (*Act. Sc. In.*, n° 555; Hermann et C^e, édit.; Paris, 1937).
- Étude de la vibration des cordes vocales et de la couverture du son sur le *mi*³, sous cocaïnisation profonde des thyro-aryténoïdiens internes (*C. R. Ac. Sc.*, 6 mars 1950).
- Étude des phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux de la voix chantée. Thèse Fac. Sc. Paris, 17 juin 1950 (Édit. de *La revue scientifique*, 1950, xx-92 p. in-4°, 35 fig.).
- Faits nouveaux concernant les phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux de la phonation (*Comm. VIII^e Congrès Soc. Int. Phon. et Log.*; Amsterdam, 21 août 1950).
- Évolution récente de nos connaissances et de nos idées en matière de physiologie et d'acoustique vocales (*Comm. X^e Congrès Soc. Franç. de phoniatrie*; Paris, 18 octobre 1950).
- Théorie mathématique de l'électro-tonus, d'après LORENTE DE NO (*Exposé Sém. de Physiol., Lab. de Physiol. Gén. de la Faculté des sciences de Paris*; 6 décembre 1950).
- Étude tomographique des modalités de l'accolement des cordes vocales et du rôle des ventricules de MORGAGNI dans la différenciation des voyelles chantées (*C. R. Ac. Sc.*, 232, 1951, p. 1951).
- La fixation de la fréquence de la vibration des cordes vocales (*Comm. Group. des Acoust. de langue française*, 8 février 1951; C. N. E. T., 24, rue Bertrand, Paris (VII^e)).
- La vibration des cordes vocales et l'activité nerveuse rythmique (*Confér. clinique O.-R.-L. de la Fac. de Méd. de Toulouse*, 21 février 1951).
- La réaction des cavités sus-glottiques sur le larynx et la physiologie des sensations internes pendant la phonation (*Confér. clinique O.-R.-L. de la Fac. de Méd. de Toulouse*, 23 février 1951).
- KATZ : Der Aufbau der Tastwelt (*Zeitschr. f. Psych., Ergänzungsbd.*, 41, 1925).
- KATZENSTEIN & ROTHMANN : Zur Lokalisation der Kehlkopfnnervation in der Kleinhirnrinde (*Beitr. zur Anat., Physiol., Pathol. und Therapie des O.-N.-H.*, 8, 1912, S. 380).
- KUCHARSKY : Recherches sur la structure des voyelles (*C. R. Ac. Sc.*, 193, 1932, p. 979).
- LABRIET : Voir HUSSON.
- LAPICQUE (L.) : Œuvre immense et fondamentale, dont nous citerons simplement :
- Plan d'une théorie physique du fonctionnement des centres nerveux (*C. R. Soc. Biol.*, 63, 1907, p. 787).
- Excitation par double condensateur (*C. R. Soc. Biol.*, 64, 1908, p. 336).
- Définition expérimentale de l'excitabilité (*C. R. Soc. Biol.*, 67, 1909, p. 280).
- Principe pour une théorie du fonctionnement nerveux élémentaire (*Revue gén. des Sciences*, 15 février 1910).
- Excitabilité des nerfs itératifs. Théorie de leur fonctionnement (*C. R. Ac. Sc.*, 153, 1912, p. 70).
- Sur la théorie de l'addition latente (*Ann. de Physiol. et de Physicochim. Biol.*, 1, 1925, p. 132).
- L'excitabilité en fonction du temps (Les Presses Universitaires de France, 1926).
- Un nouveau pas vers la théorie de l'excitation électrique. Perturbation colloïdale et phénomène antagoniste (*C. R. Soc. Biol.*, 96, 1927, p. 619).
- Physiologie générale du système nerveux (*Nouveau traité de psychologie*, par G. DUMAS; Alcan, Paris, 1930).
- LAPICQUE (M.) : (A découvert la notion fondamentale de subordination.) Travaux fort importants dont nous citerons simplement :
- Corrélation entre l'imbibition du muscle et sa chronaxie (*Jour. de Physiol. et Path. gén.*, 19, 1921, p. 127).
- Action des centres encéphaliques sur la chronaxie des nerfs moteurs (*C. R. Soc. Biol.*, 86, 1923, p. 46).
- Influence du thalamus sur la chronaxie du nerf moteur (*C. R. Soc. Biol.*, 103, 1930, p. 848).
- LEMOYER : Étude expérimentale sur la phonation; Doin, Paris, 1886.
- LEVIDOW (I.) : *Folia Otol.*, 1930, S. 173.
Z. usn. Bol. (en russe), Bd. 8, S. 71.
- LEWINSKI : Über den Kraftsinn (*Virchow's Archiv*, 77, 1879, S. 142).
- LINDEMANN (E.) : Studies of action currents in laryngeal nerves (*Proceed. Soc. of the Experim. Biol. and Med.*, 27, 1930, S. 479-481).
- LISKOVIC : *Dissertation systems theoriam vocis*; in-8°, Leipzig, 1814.
Physiol. der Mensch. Stimme für Ärzte u. Nichtärzte; Leipzig, 1846.
- LONGET : *Traité de physiologie; art. de la voix*; 3^e édit., 2, p. 658, Paris, Baillière, 1873. (Très-remarquable pour l'époque. Travaux expérimentaux de l'auteur sur la question.)
- LUCHSINGER (R.) : A propos de l'analyse phonétique objective de la voix nasonnée (*Folia phoniatica*, Zurich, n° 1, 1947, pp. 15-21).
- MALJUTIN : Zur Frage der stroboskopischen Diagnostik (*Monatsschrift für ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinol.*, n° 11, 65, Jahrgang, 1931).
Strobosk. Ersch. bei Gesangschülern (*Acta Oto-Lar.*, XV, 2-4, 1931).
Anatomische Eigentümlichkeiten einiger Teile des Stimmapparates und neue stroboskopischen Beobachtungen (*Monatsschrift für ohrenheilkunde und laryngo-rhinol.*, 67 Jahrgang, 1933, 8 Heft).
- MARAGE : *Théorie de la formation des voyelles*; couronné par l'Institut de France, prix BARBIER, 43 fig., 1900.
Travail développé pendant la phonation; Institut de France, 27 mai 1907.
La respiration chez les chanteurs (*C. R. Ac. Sc.*, 1909, p. 1118).
Petit manuel de physiologie de la voix; Paris, 1911.
- MATTHEWS : *J. of phy.*, LXXII, 2, 1931, pp. 153-174.
- MILLET (Abbé) : *Précis d'expérimentation phonétique*; Paris, 1928.
Étude expérimentale de la formation des voyelles (*Act. Scient. et Indust.*, n° 630, Hermann, édit.; Paris, 1938).
- MONNIER (A.-M.) : Œuvre de première importance sur l'électro-physiologie et l'activité nerveuse rythmique, dont nous citerons simplement :
Étude expérimentale du mécanisme physico-chimique de la subordination nerveuse. Thèse Sc. Nat.; Paris, 1933.
L'Excitation électrique des tissus. Thèse Sc. Physiques; Hermann, édit.; Paris, 1934.
- MONNIER (A.-M.) & BAZIN (J.) : *C. R. Ac. Sc.*, 202, 1936, p. 828.
- MONNIER (A.-M.) & BONNET (V.) : *Arch. Sc. Physiol.*, 1, 1947, p. 91.
- MONNIER (A.-M.), BONNET (V.) & BRARD (E.) : *Arch. Intern. Physiol.*, 34, 1946, p. 72.
- MONNIER (A.-M.) & COPPÉE (G.) : *Arch. Intern. Physiol.*, 48, 1939, p. 129.
Ibid., 56, 1949, p. 45.
- MONNIER (A.-M.) & CORABOEUF (E.) : *Congrès Association des Physiologistes*; Lausanne, 1948.
- MONNIER (A.-M.) & LAGET (P.) : *Journal de Physiologie*, 41, 1949, p. 238 A.
- MOREAUX (D^r R.) : *Rev. franç. de phoniatrie*, n° 2, 1933, pp. 91-98.
- MÜLLER (J.) : *Manuel physiol.*, traduit par JOURDAN, art. voix, t. II, p. 167.
Über die Kompensation der Physischen Kräfte am menschl. Stimmapp.; Berlin, 1839.
- MUSEHOLD : Strobosk. u. Phot. Studien über d. Stellung d. Stimmklappen im Brust u. Falsett Register. *Arch. f. Laryng.*, 7, 1898, S. 1).
Allgemeine Akustik und Mechanik des menschl. Stimmorgan; Berlin, 1913 (fondamental).
- NADOLECZNY : *Untersuch. über den Kunstgesang*; Berlin, 1922.
Physiol. der Stimme und Sprache, Handb. von Denker und Kahler, Bd. I, S. 621, Berlin, Munich, 1925.
Kurzes Lehrb. der Sprache u. Stimmheilk; Leipzig, 1926.
Funktionelle Stimmstörungen und Psychiatrie (*Zeitschr. f. L.-R.-O.*, B. 23, 1932, H. 3 et 4, S. 313).

- NAGEL: *Handb. d. Physiol. der Menschen, Physiol. d. Stimmwerkzeuge*, 4, 1909, S. 691.
- NEGUS: *The Mechanism of the larynx*; W. M. Heinemann, London, 1929.
- ÖERTEL: *Archiv. f. Laryng.*, Bd. 3, 1895, S. 1-16.
- PIELKE: Über den Ausgleich des Stimmbruchs durch die sogenannte Deckung (*Verhandl. d. III Internat. Laryngo-Rhinol. Kongress*, Teil II, Berlin, 1912, S. 49).
- Atmen und Singen (*Vox*, 1919, S. 35).
- Über « Offen » und « gedeckt » gesungene Vokale (*Passows. Beitr.*, V, 3, 1911, S. 214).
- PIÉRON (H.): Comment se peut concevoir la sensation de douleur (*Rev. gén. sc.*, 34, 1923, p. 365).
- Les lois générales de la sensation (*Journal de psychol.*, 23, 1928, p. 507).
- PLOSKHO: Die Nervenendigungen und Ganglien der Respirationsorgane (*Anal. Anz.*, 13, 1897).
- RABOTNOFF: *Z. usn. Bol.* (russe), Bd. 6, 1929, S. 176-186 und 346-356 (résumé en allemand).
- RAZAVET (P.): (*Revue franç. de phoniatrie*, t. II, fasc. 8, 1934; *ibid.*, t. V, fasc. 18, 1937).
- REINKE (F.): *Anal. Hefte*, Bd. 9, S. 103.
- RETHI (L.): Experim. Untersuch. über den Schwingungstypus und den Mechanismus der Stimmbänder bei Falsettstimme (*Wiener Klin. Rundschau*, 5-6, 1897).
- Untersuch. über den Schwingungsform der Stimmbänder bei den Verschied. Gesangsregistern (*Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien, Math. Natur. Klasse*, 106, Part. III, fév. 1897).
- RETZIUS: Nervenendigungen in dem Geschmacksorgan der Säugethiere und Amphibien (*Biol. Untersuch.*, N. F. IV, 1892, S. 19).
- Über die sensible Nervenendigungen in den Epithelien bei den Wirbelthieren (*Biol. Untersuch.*, N. F. IV, 1892, S. 37).
- ROCARD (Y.): *Théorie des oscillateurs*; éditions de *La revue scientifique*; Paris, 1941.
- Dynamique générale des vibrations*; Masson, édit.; Paris, 2^e éd., 1949, (fondamental sur la question).
- ROTHMANN (M.): *Neurol. Zentralbl.*, 31, 1912, S. 274.
- ROUSSELOT (Abbé): *Principes de phonétique expérimentale*, t. I, 1897; t. II, 1901.
- RUHLMANN (A.): *Arch. f. Mikroskop. Anat.*, 29, 1887.
- SAVART (F.): Mémoire sur la voix humaine (*Ann. de phys. et chim.*, t. XXIX, 1924, et t. XXX, 1925).
- SCHILLING: Die Deckung des Gesangstons im Röntgenbild (*Arch. experim. u. Klin. Phonetik*, t. I, 2, 1914, S. 129).
- Die Untersuchungsmethoden der Stimme und Sprache (*Handb.*, Denker et Kahler, t. I, 1925).
- Untersuchungen über die Atembewegungen beim Sprechen und Singen (*Monatsschr. f. O.-L.-R.*, 59^e année, H. 1-6, Vienne, 1925).
- Über den Einfluss der Vokalstellungen auf den Atemtypus und den phonischen Nullpunkt (*Klin. Wochenschr.*, B. 3, 1924, S. 650).
- SHERRINGTON: The integrative action of the nervous system (Constable, London, 1906).
- Reflex inhibition as a factor in the coordination of movements and postures (*Quart. Journal of exper. phys.*, t. VI, n° 3, 1913, S. 521).
- SIMANOWSKY: Beitr. zur Anat. des Kehlkopfes: 1^o Der Taschenbandmuskel; 2^o Die Nervenendigungen in den wahren Stimmbändern des Menschen und der Säugetiere; 3^o Über die Regeneration des Epithels der wahren Stimmbänder (*Arch. f. mikroskop. Anat.*, 22, 1883).
- STERN: Die Notwendigkeit einer einheitlichen Nomenklatur für die Physiologie, Pathologie und Pädagogik der Stimme (*Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie*, 1928).
- Zur Bedeutung und Bewertung stroboskopischer Befunde für die Pathologie der Stimme (*Deutschen Gesellschaft*, 23 mai 1931).
- STOPFORD: *A new Conception of the Elements of Sensation*; Brain, 48, 1922, p. 385.
- SÜNDER-PLESSMANN (P.): Über den Nervenapparat des Musculus vocalis (*Zeitschrift für H.-N.-O.*, Jahrg. 32, 1933, S. 493-499).
- Über den Nervenapparat des Menschlichen Glottisöffners, Musculus cricoaryt.-post. (*Zeitschrift für H.-N.-O.*, Jahrg. 32, 1933, S. 586-598).
- TARNEAUD: Études des conditions expérimentales et cliniques permettant d'établir et de classer les dyskinésies de la parole et du chant (*Bull. Ac. Méd. de Paris*, t. CVII, n° 11, 1932).
- La Stroboscopie du larynx (*Revue de laryngologie*, 53^e année, n° 7, 1932, p. 917).
- La vibration d'une seule corde vocale dans la phonation (*Ann. O.-L.*, n° 12; Masson, édit.; Paris, 1932).
- Laryngologie et chronaxie (*Ann. O. L.*, 1934, 30 pages).
- Perméabilité nasale et phonation (*1^{er} Congrès de la Société italienne de phoniatrie et de Phon.-Biol.*; Bolzano, 1933).
- Le réflexe naso-phonatoire (*Revue franç. de phoniatrie*, t. II, fasc. 2, 1934).
- Traité pratique de phonologie et phoniatrie*; Maloine, édit.; Paris, 1941.
- TERRACOL: La calcification du larynx et de la voix (*Revue franç. de phoniatrie*, t. II, n° 5, 1934).
- Le larynx et les glandes endocrines (*III^e Congrès Société franç. de phoniatrie*, 1935) (en collaboration avec R. AZÉMAR).
- La sénescence de la voix (*Rapp. Congrès Société franç. de phoniatrie*, 1949) (en collaboration avec R. AZÉMAR).
- THOORIS VAN BORRE: *Le Chant humain*; Amédée Legrand; Paris, 1927.
- TONNDORF: Zur Physiol. des menschl. Stimmorgans (*Zeitschr. f. H. N. O.* Bd. XXII, H. 4, 1929, S. 412-423).
- TRENDELENBURG (F. & W.): Série d'études expérimentales de premier intérêt publiées dans les *Sitzungsber. d. Preusz. Akad. d. Wissensch.* de 1934 à 1939 (Quelques-unes en collaboration de KAGEN, de W. HARTMANN, et de WULLSTEIN).
- WEISS (D.): Zur Funktionsfrage der Stimmlippen (*Monatsschr. f. O.-L.-R.*, 64, H. 7, 1930 S. 831).
- Untersuchungen über das Vibratos (*Wiener Mediz. Wochenschr.*, n° 35, 1930).
- Über einige stroboskopische Phänomene (*Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. L.-Rh.*, 63, H. 2, 1931, S. 158).
- Zur Frage der stroboskopischen Diagnostik (*Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. L.-Rh.*, 66, H. 2, 1932).
- Die Laryngostroboscopie (*Zeitschr. f. Laryngol. usw.*, 1932, XX, S. 391-418).
- Ein Fall von beiderseitiger Stimmlippenlähmung mit merkwürdigem Behandlungsergebnis (*Zeitschr. f. H.-N.-O.*, B. 30, 1932, H. 8, S. 634).
- Ein Resonanzphänomen bei Sängern (*Monatsschr. f. Ohrenheilk.*, 1932).
- Zur Frage der Registerbruchstellen (*Zeitschr. f. H.-N.-Ohrenheilk.*, B. 30, H. 3, 1932, S. 353).
- Physiologie der Stimme (*Monatsschr. f. O.-L.-R.*, 70, Heft 8 à 12, 1936) (49 p. et excellente bibliographie). Ref. f. 7 Congr. der Intern. Ges. f. Log. und Phon. (fondamental).
- WETHLO (F.): *Die Stimme*; Berlin, Bd. 17, 1925, S. 155-217.
- WEVER: *Theory of Hearing*; New York, 1949.
- WULLSTEIN: Voir TRENDLENBURG.
- ZAIKOL (D^r): *Utilisation de la Stroboscopie en clinique laryngologique et phoniatrique* (Thèse Fac. Méd.; Paris, 1941).
- ZUCKERKANDL: Article sur l'anatomie du larynx (*Handb. d. Laryng. u. Rhinol.* von HEYMAN, Bd. I, Hälfte I, Wien, 1898).
- ZUMSTEEG: *Vox med.*; Berlin, 1913; S. 42-58, 94-107.
- Vox med.*; Berlin, 1914; S. 157.
- Die Stimme*; Berlin, 1920; Bd. 13, S. 25.

TABLE DES NOMS CITÉS

Les chiffres arabes renvoient aux paragraphes, les chiffres romains se rapportent à l'Avant-Propos.

-
- ADRIAN. — 99, 116.
 ALAJOUANINE (Prof.). — 69.
 ANTHON. — 58.
 AUGER (L.). — 83.
 AVELLIS. — 36.
- BECHTEREW. — 113.
 BERGER. — 118.
 BEZOLD. — 4.
 BLANCHET (D^r). — 4, 7, 41, 80, 81, 124.
 BONNIER (D^r Pierre). — 94.
 BRAY. — 99, 114.
- CANUYT. — 36.
 CATTELL. — 99.
 CHAVES (M^{me} Mercédès V. A. DE). — VII.
 CHEYNE. — 112.
 CUVIER. — 124.
- DAULY (M^{me}). — 141.
 DÉJÉRINE. — 137.
 DEQUEVAUVILLER. — 124.
 DRATZ-BARAT (M^{me}). — 141.
 DROMER (D^r). — 87.
 DUMAS (Georges). — 113, 138.
 DUMONT (D^r Pierre). — 86.
- EGGER (Max). — 137.
 EWALD. — 94, 102, 112, 117.
- FAVARD. — 124.
 FESSARD (A.). — 99.
 FESSLER. — 137.
 FOUCHÉ. — 69.
 FRANCELL. — 141.
 FREY (VON). — 137.
 FRIEDRICH. — 101.
- GARCIA. — 143.
 GARDE (D^r Édouard-J.). — VIII, 13, 16, 20, 25, 34, 37, 41, 63, 80, 81, 82, 96, 124.
 GLOYER (D^r J. & H.). — 91, 124.
 GOLDSCHIEDER. — 137.
 GREINER. — 36, 125.
 GRÜTZNER. — 101.
 GUILLEMIN. — 94.
 GUNSETT. — 36.
 GUTTON. — II.
 GUTZMANN. — 117, 136.
- HAHN. — 121.
 HALA. — 40.
 HEAD. — 137.
 HEGENER. — 58.
 HELMHOLTZ. — 124.
 HENLE. — 101.
 HEYMANN (O.). — 40.
 HOAGLAND. — 99.
 HONTY. — 40.
 HUNT (R.). — 138.
- JACOBSON. — 101.
- KAGEN. — 75, 76.
 KATZ. — 137.
 KATZENSTEIN. — 138.
 KUCHARSKY. — 4.
- LABRIET (A.). — II.
 LAPICQUE (Louis). — IV, V, VIII, IX, 93, 99, 137.
 LAPICQUE (M^{me}). — 93, 137.
 LAUGIER. — 99.
 LERMOYEZ. — 3, 94.
 LEVIDOW. — 58.
 LEWINSKI. — 137.
 LEWIS. — 101.
 LINDEMANN. — 85, 100.
 LISKOVIIUS. — 94.
 LOEWY. — 117.
 LONGET. — 94.
 LOOTENS. — 94.
 LUDWIG (C.). — 101.
- MAGNE (M^{me}). — 141.
 MALJUTIN. — 46, 60, 123.
 MARAGE. — 4.
 MATTHEWS. — 99.
 MEYER. — 2.
 MICHAUX (D^r). — 87.
 MILLET (Abbé). — II.
 MONNIER (A.-M.). — 108.
 MOREAUX (D^r René, de Nancy). — 92, 114, 124.
 MULLER. — 94.
 MUSEHOLD. — 29, 33, 35, 38, 40, 94, 101, 136.
- NADOLECZNY. — 4, 96, 113, 140.
 NAGEL. — 33.
 NÉGUS. — 1.
- OERTEL. — 38, 39, 40, 96.
 OMBREDANE (D^r André). — V, 69.
- PIELKE. — 126, 136.
 PIÉRON. — 137.
 PLOSKHO. — 137.
- RABOTNOFF. — 3.
 RAZAVET (P.). — 3.
 REINKE. — 101.
 RÉTHI. — 39, 40.
 RETZIUS. — 137.
 RICHARD (André). — VIII, 67.
 ROCARD (Yves). — 83, 126.
 ROTHMANN. — 138.
 ROUSSELOT (Abbé). — II, 122.
 RUHLMANN (A.). — 101.
- SAVART. — 94.
 SCHILLING. — 136, 140.
 SÉGUIN (les frères). — III, 9.
 SÉVEILHAC. — 28.
 SHERRINGTON. — 99, 138.
 SIMANOWSKY. — 138.
 STERN (Hugo). — 11, 60.
 STOKES. — 112.
 STOPFORD. — 137.
 SÜNDER-PLASSMANN. — 101.
- TARNEAUD (D^r Jean). — III, 9, 19, 40, 53, 54, 60, 62, 87, 90, 95, 96, 108, 121.
 TARNEAUD (M^{me}). — III.
 TERRACOL. — 121.
 THOORIS (D^r). — 79, 80, 81, 91, 124, 136.
 TONNDORF. — 142.
 TRENDLENBURG (Prof. Ferdinand). — VI, 75, 76, 95, 96.
- URBAIN (Georges). — II.
 VIBERT (D^r). — 87.
 VULPIAN. — 125.
- WEISS (D^r Desider). — VI, 33, 35, 49, 60, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 82, 83, 96, 124, 126, 142.
 WETHLO. — 94, 117.
 WEWER. — 99, 100, 104, 114.
 WULLSTEIN. — 95, 96.
- ZÁIFOL (D^r). — 43.
 ZUCKERKANDL. — 102.
 ZUMSTEEG. — 58.
-

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS

Exposé sommaire du développement et de l'évolution des
présentes recherches §§ I à IX

INTRODUCTION

Sur certaines particularités des phénomènes phonatoires
humains et quelques-unes de leurs conséquences..... §§ 1 à 7

Première partie :

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES.

CHAPITRE I

Observations laryngo-stroboscopiques
effectuées dans des conditions ordinaires (Modes vibratoires normaux).

Première classe. — Observations relatives à l'émission d'un
son de hauteur constante avec une pression sous-glottique
variable..... §§ 13 et 14

Obs. 1. — Sur *ut*², en voix de poitrine ouverte.

Obs. 2. — Sur *fa dièze*³, en voix de poitrine couverte.

Obs. 3. — Sur *ut*³, *fa dièze*³ et *ut*⁴, en voix de fausset.

Premières conclusions..... § 15

Deuxième classe. — Observations relatives à l'émission d'un
son de hauteur variable avec une pression sous-glottique
sensiblement constante, en voix de poitrine ouverte et
couverte, et en voix de fausset..... § 16

Obs. 4. — Sur *si bémol*¹.

Obs. 5. — Sur *ré*³, en voix de poitrine.

Obs. 6 et 7. — Sur *fa*³, en voix de poitrine et en voix
de fausset.

Obs. 8 et 9. — Sur *la bémol*², en voix de poitrine
ouverte et en voix de fausset.

Obs. 10 et 11. — Sur *ut*³, en voix de poitrine ouverte
et en voix de fausset.

Obs. 12 et 13. — Sur *mi bémol*³, en voix de poitrine
ouverte et en voix de fausset.

Obs. 14 et 15. — Sur *fa*³, en voix de poitrine couverte
et en voix de fausset.

Obs. 16 et 17. — Sur *la bémol*², en voix de poitrine
couverte et en voix de fausset.

Obs. 18. — Sur *la*³, en voix de fausset.

Obs. 19. — Sur *ut*⁴, en voix de fausset.

Obs. 20. — Sur *mi*⁴, en voix de fausset.

Obs. 21. — Sur *sol*⁴, en voix de fausset.

Premières conclusions relatives à l'émission des sons de
poitrine ouverts..... § 17

Premières conclusions relatives à l'émission des sons de
poitrine couverts..... § 18

Premières conclusions relatives à l'émission des sons de
fausset § 19

Troisième classe. — Observations relatives à la couverture du
son au voisinage du passage du *mi*³ pour les hommes... § 20

Obs. 22, 23 et 24. — Sur *ré*³, *mi bémol*³, et *mi*³.

Premières conclusions relatives à la couverture du son... § 21

Autres observations directes (non laryngoscopiques) §§ 22 et 23

Obs. 25 et 26.

Quatrième classe. — Observations relatives à l'émission d'un
son quand on change de voyelle ou de couleur de son à
hauteur et à pression sous-glottique constantes §§ 24 et 25

Obs. 27. — Sur *sol*³, è ouvert changé en *eu* ouvert.

Obs. 28. — Sur *la*³, è ouvert changé en *eu* ouvert.

Obs. 29. — Sur *ut*³, è ouvert changé en *eu* ouvert.

Obs. 30. — Sur *ré*³, è ouvert changé en *eu* ouvert.

Obs. 31. — Sur *la*³, è ouvert changé en *a*.

Obs. 32. — Sur *la*³, è ouvert changé en *o* ouvert.

Obs. 33. — Sur *la*³, è ouvert changé en *eu* fermé.

Obs. 34. — Sur *ré*³, è ouvert changé en *eu* fermé.

Premières conclusions relatives à l'émission de sons de
timbres différents à hauteur et à pression sous-glottique
constantes..... § 26

Loi réglant la réaction des résonnances bucco-pharyngées
sur la vibration des cordes vocales dans l'émission de sons de
hauteur et d'intensité constantes..... §§ 27 et 28

Cinquième classe. — Observations relatives à certains points
particuliers du comportement des cordes vocales pendant
leur vibration normale..... §§ 29 à 42

La vibration s'effectue dans le plan horizontal..... § 29

Le bord des cordes vocales vibre-t-il seul en fausset?... § 30

Une « composante verticale » de la vibration en fausset
existe-t-elle? § 31

Sur la phase d'écartement des cordes pendant la vibration. § 32

Sur la phase de rapprochement des cordes pendant la
vibration § 33

La phase d'écartement est-elle de même durée que celle
de retour à l'accolement?... § 34

Obs. 35. — Sur *ré*³, *sol*³, *la*³, *ut*³, en poitrine et en
fausset.

Sur la phase d'accolement et sur sa durée..... § 35

Sur la profondeur de l'accolement..... § 36

Les amplitudes vibratoires successives d'une même période
sont-elles égales? Lien avec le *vibrato*..... § 37

Obs. 36. — Sur *la*³, *ré*³ et *fa*³, en voix de poitrine.

Sur la ligne nodale d'OERTEL..... § 38

Sur la vague de RÉTHI..... § 39

Sur le relief des cordes vocales pendant l'émission de la
voix de poitrine..... § 40

Les cordes vocales peuvent-elles vibrer sans être en attitude
de phonation?... § 41

Obs. 37 et 38. — Sur *ut*³ et *ré*³, en voix de fausset.

Phénomènes observés à la limite supérieure de la voix de
poitrine couverte et de la voix de fausset..... § 42

CHAPITRE II

Observations laryngo-stroboscopiques effectuées
dans des conditions ordinaires
(Modes vibratoires paranormaux et pathologiques).

Première classe. — Modifications portant sur l'amplitude vibra-
toire §§ 45 à 49

Trouble unilatéral de l'amplitude..... § 46

Trouble bilatéral de l'amplitude..... § 47

Trouble de l'amplitude ne se manifestant que sur un îlot
tonal..... § 48

Déphasage de la vibration des deux cordes..... § 49

<i>Deuxième classe.</i> — Modifications portant sur la forme de la vibration.....		\$ 50 à 54
Modification de la phase d'occlusion.....		\$ 51
Modification de la phase d'ouverture.....		\$ 52
Modification de la longueur de la partie vibrante.....		\$ 53
Modification du comportement de la corde vocale dans sa masse.....		\$ 54
<i>Troisième classe.</i> — Modifications portant sur la fréquence de la vibration.....		\$ 55 à 58
La même corde vibre à une fréquence un peu inférieure sur toute la tessiture.....		\$ 56
Même phénomène sur un ilot tonal seulement.....		\$ 57
Une corde vibre à une fréquence très-grave, toujours la même, mais de façon irrégulière.....		\$ 58
<i>Quatrième classe.</i> — Suppression de la vibration d'une ou des deux cordes vocales.....		\$ 59 à 62
Arrêt de la vibration d'une corde sur toute la tessiture..		\$ 60
Arrêt de la vibration d'une corde sur un ilot tonal.....		\$ 61
Arrêt de la vibration des deux cordes vocales.....		\$ 62

CHAPITRE III

Expériences et observations laryngo-stroboscopiques avec forte cocaïnisation des cordes vocales.

Résultats des expériences avec cocaïnisation du pharynx.	\$ 64
Résultats des expériences avec cocaïnisation poussée du pharynx, du vestibule laryngé, et des cordes vocales.....	\$ 65
Effets observés quatre heures après la cocaïnisation.....	\$ 66
Effets observés vingt-quatre heures au moins après la cocaïnisation.....	\$ 67
Premières conclusions.....	\$ 68

CHAPITRE IV

Observations laryngo-stroboscopiques sur des sujets présentant des lésions centrales.

Lésion corticale.....	\$ 70
Obs. 39. — Hémiplegie corticale droite.	
Obs. 40. — Hémiplegie corticale gauche.	
Obs. 41. — Parkinsonien.	
Obs. 42. — Paralyse faciale gauche atténuée.	
Lésion bulbaire.....	\$ 71
Obs. 43. — Paralyse labio-glosso-laryngée droite.	
Lésion du cervelet.....	\$ 72
Obs. 44. — Homme « caoutchouc ».	
Premières conclusions.....	\$ 73

CHAPITRE V

Expériences avec un résonateur adjuvant.

Les expériences de D. WEISS et les « cassures de résonance ».....	\$ 76
Les passages de la voix sont-ils des phénomènes de même nature?.....	\$ 77
Les passages de la voix subsistent-ils avec l'adjonction du tube?.....	\$ 78
Premières conclusions.....	\$ 79

CHAPITRE VI

Expériences et observations laryngo-stroboscopiques avec assourdisseur (avec ou sans résonateur adjuvant).

La vibration des cordes vocales sous l'assourdisseur.....	\$ 81
Obs. 45. — Sur <i>si</i> ⁴ , en voix de poitrine.	
Obs. 46. — Sur <i>sol</i> ² , en voix de poitrine.	
Obs. 47. — Sur <i>fa</i> ² , en fausset.	
Obs. 48. — Sur <i>si</i> <i>bémol</i> ² , en fausset.	
Obs. 49. — Sur <i>la</i> ² , en fausset: è ouvert changé en eu fermé.	
Les expériences de Weiss sous l'assourdisseur.....	\$ 82
Obs. 50. — Modification des sons émis au voisinage des partiels du tube. Tableau des résultats.	
Premières conclusions.....	\$ 83

CHAPITRE VII

Expériences et observations de divers auteurs rapportées et utilisées.

<i>Première classe.</i> — Observations et expériences relatives à la vibration des cordes vocales.....		\$ 85 à 87
Expériences de LINDEMANN (1930).....		\$ 85
Expériences de DUMONT (France, 1933).....		\$ 86
Un cas de paralysie de la vibration des cordes vocales sans altération de l'adduction (TARNEAUD, 1936).....		\$ 87
<i>Deuxième classe.</i> — Observations et expériences relatives à la réaction des cavités nasales.....		\$ 88 à 91
Expérience de THOORIS.....		\$ 89
Tessiture de ténor limitée dans l'aigu par un manque d'occlusion du rhino-pharynx.....		\$ 90
Limites de nasalisation des sons dans l'aigu (J. & H. GLOVER, 1923).....		\$ 91
<i>Troisième classe.</i> — Conséquences phonatoires de certains troubles auditifs.....		\$ 92
Observations du D ^r René MOREAUX (de Nancy, 1932)....		\$ 92

Deuxième partie :

PHYSIOLOGIE DE LA VIBRATION DES CORDES VOCALES

CHAPITRE VIII

La théorie myoélastique classique, ses insuffisances et ses incompatibilités.

Les théories périphériques anciennes.....	\$ 94
La théorie myoélastique actuelle.....	\$ 95
Les insuffisances et les incompatibilités de la théorie myoélastique.....	\$ 96
Premières conclusions.....	\$ 97

CHAPITRE IX

Les éléments fondamentaux d'une théorie neuro-chronaxique.

Sur le caractère général rythmique de l'activité nerveuse.	\$ 99
Sur le caractère rythmique de la stimulation récurrentielle.....	\$ 100
Sur certaines particularités anatomiques des cordes vocales.....	\$ 101
Sur la phase d'écartement des cordes vocales pendant leur vibration.....	\$ 103
Sur le rappel de chaque corde vocale vers la ligne médiane pendant la vibration.....	\$ 105
Sur la phase d'occlusion pendant la vibration.....	\$ 107
Sur la fixation de la fréquence du son émis par le larynx..	\$ 108
Sur les limites tonales de la voix d'un sujet donné....	\$ 109
Explication des différents modes vibratoires des cordes vocales suivant les registres.....	\$ 110

CHAPITRE X

Le conditionnement du son laryngien en hauteur, en intensité et en timbre, dans la théorie neuro-chronaxique (Considérations psycho-physiologiques).

Le conditionnement psycho-physiologique du son laryngien en hauteur.....	\$ 111 à 116
Les sources possibles du stimulus périodique.....	\$ 112
Relation entre le stimulus récurrentiel volontaire et l'activité des centres auditifs et idéogènes.....	\$ 113
Le contrôle extéroceptif et la régulation psycho-auditive de la hauteur du son laryngien.....	\$ 114
Fixation de la hauteur du son en l'absence de contrôle auriculaire et dans la parole habituelle.....	\$ 115
La modification de la hauteur du son par voie réactionnelle.....	\$ 116
Le conditionnement du son laryngien en intensité....	\$ 117
Le conditionnement du son laryngien en timbre et du mode vibratoire des cordes vocales.....	\$ 118 à 122
Le rôle de la phase d'occlusion.....	\$ 119
Le rôle de la réaction des cavités sus-glottiques.....	\$ 120
Les facteurs secondaires du conditionnement.....	\$ 121
Sur le timbre de la voix parlée.....	\$ 122

Troisième partie :

LE COUPLAGE DU LARYNX
ET DU RÉSONNATEUR PHARYNGO-BUCCAL.

CHAPITRE XI

La réaction du résonnateur pharyngo-buccal
sur la vibration des cordes vocales.

Rappel des faits expérimentaux.....	\$ 123
La réaction sur la hauteur du son laryngien.....	\$ 124
La réaction sur la fourniture laryngée et sur le mode vibratoire des cordes vocales.....	\$ 125
Sur le mécanisme intime de la réaction au niveau des cordes vocales et le rôle régulateur des impédances bucco-pharyngées et labiales.....	\$ 126

CHAPITRE XII

Physiologie des passages et des registres de la voix chantée (hommes).

Les données auditives immédiates.....	\$ 127
Première classe. — Les phénomènes mécanico-acoustiques et phonétiques.....	\$\$ 129 à 133
Passages et registres de voix de poitrine dans l'émission des voyelles chantées ouvertes (hommes).....	\$ 129
Empiètements possibles des registres l'un sur l'autre..	\$ 130
Variabilité de la hauteur <i>optimum</i> des passages des voyelles ouvertes avec les tessitures et l'intensité de la voix.	\$ 134
Passage et registres de voix de poitrine dans l'émission des voyelles chantées fermées (hommes).....	\$ 132

Empiètements possibles des registres l'un sur l'autre et variabilité de la hauteur <i>optimum</i> du passage.....	\$ 133
---	--------

Deuxième classe. — Les phénomènes physiologiques..... \$\$ 134 à 143

Observations générales.....	\$ 134
Modifications intéressant la musculature intrinsèque..	\$ 135
Modifications intéressant la musculature extrinsèque..	\$ 136

Genèse proprioceptive et intéroceptive des modifications de la statique musculaire intrinsèque et extrinsèque aux passages.....	\$ 137
---	--------

Les passages, actes réflexes susceptibles d'une exécution volontaire et d'un conditionnement automatique.....	\$ 138
---	--------

Modifications des phénomènes dissipatifs et pallessthésiques aux passages.....	\$ 139
--	--------

Modifications intéressant l'activité expiratrice et le mode inspiratoire.....	\$ 140
---	--------

Sur la voix mixte	\$ 141
-------------------------	--------

Importance exceptionnelle des passages dans la physiologie de la voix chantée.....	\$ 142
--	--------

En conclusion : définition des passages et des registres de la voix chantée.....	\$ 143
--	--------

CONCLUSIONS

Les faits nouveaux apportés par le présent travail....	\$\$ 144 à 147
Sur la physiologie de la vibration des cordes vocales..	\$ 145
Sur le fonctionnement mécano-acoustique et physiologique du couplage du larynx et des résonnateurs sus-glottiques	\$ 146
Sur la triple régulation extéro-, intéro- et proprioceptive de la voix chantée et l'importance particulière de ces deux dernières.....	\$ 147

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté :

SUR QUELQUES ÉQUATIONS INTÉGRO-DIFFÉRENTIELLES DE LA THÉORIE DES SYSTÈMES VIBRANTS ET LEUR APPLICATION ÉVENTUELLE A LA GENÈSE DE L'ACTIVITÉ NERVEUSE RYTHMIQUE

Vu et approuvé :

Paris, le 17 juin 1950.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

A. CHÂTELET.

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

Jean SARRAILH.

